

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS – UFGD
FACULDADE DE ENGENHARIA – FAEN
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

CAROLINE MARIA DE VARGAS

**ANÁLISE DA GESTÃO DA TORTA DE FILTRO: UM ESTUDO DE CASO SOBRE
INDICADORES, EFICIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE NO PROCESSO
SUCROALCOOLEIRO**

**DOURADOS/MS
2025**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS – UFGD
FACULDADE DE ENGENHARIA – FAEN
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

CAROLINE MARIA DE VARGAS

**ANÁLISE DA GESTÃO DA TORTA DE FILTRO: UM ESTUDO DE CASO SOBRE
INDICADORES, EFICIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE NO PROCESSO
SUCROALCOOLEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado
ao curso de graduação em Engenharia de Produção da
Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD),
como requisito para obtenção do título de bacharel em
Engenharia de Produção.

Orientação: Prof. Dr. Lucas Rodrigues Deliberador

**DOURADOS/MS
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

V297a Vargas, Caroline Maria De

ANÁLISE DA GESTÃO DA TORTA DE FILTRO: UM ESTUDO DE CASO SOBRE
INDICADORES, EFICIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE NO PROCESSO

SUCRALCOOLEIRO [recurso eletrônico] / Caroline Maria De Vargas. -- 2025.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Lucas Rodrigues Deliberador.

TCC (Graduação em Engenharia de Produção)-Universidade Federal da Grande Dourados,
2025.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Torta de filtro. 2. Setor sucralcooleiro. 3. Eficiência operacional. 4. Filtro prensa. 5.
Filtração. I. Deliberador, Lucas Rodrigues. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO F – ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Às 09:00 horas do dia 12 de dezembro de 2025, realizou-se no(a) SALA DE REUNIÕES/FAEN (local) a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Produção intitulado “

ANÁLISE DA GESTÃO DA TORTA DE FILTRO: UM ESTUDO DE CASO SOBRE INDICADORES, EFICIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE NO PROCESSO SUCRALCOOLEIRO

”, de autoria do(a) graduando(a)
CAROLINE MARIA DE VARGAS, como requisito para a aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II. Após a defesa e posterior arguição, a banca examinadora concluiu que o Trabalho de Conclusão de Curso deve ser:

(X) Aprovado.

() Reprovado.

MF (Média final das notas dos três membros da banca): 9,4

O(A) graduando(a) declara ciência de que a sua aprovação está condicionada à entrega da versão final (digital, corrigida e assinada) do Trabalho de Conclusão de Curso, nos termos em que especifica o regulamento da disciplina, em anexo ao Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Produção da UFGD. O(A) orientador(a) se responsabilizará pela verificação e aprovação das correções do manuscrito feitas pelo(a) graduando(a) para a elaboração da versão final.

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

GRADUANDO(A)

Nome: CAROLINE MARIA DE VARGAS

Assinatura: Caroline M. de Vargas

BANCA EXAMINADORA

Nome: Lucas Rodrigues Deliberador

Assinatura: [Signature]

(Orientador)

Nome: Thayná Lorraine de Carvalho
(Membro)

Assinatura: [Signature]

Nome: Vinícius Carrijo dos Santos

Assinatura: [Signature]

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me sustentou e me permitiu chegar até aqui, fortalecendo minha fé e me lembrando diariamente de que sou capaz. Me dando coragem e me fazendo permanecer em pé mesmo nos momentos difíceis.

A toda a minha família, em especial ao meu pai Elio de Vargas e à minha mãe Loreni Caspers de Vargas, expresso minha profunda gratidão por sempre acreditarem em mim. Obrigada por cada palavra de incentivo, por cada gesto de apoio e por nunca medirem esforços para que eu pudesse estudar e chegar até este momento. As minhas irmãs Cristiane de Vargas e Carine de Vargas, agradeço pela parceria, carinho e força em todos os momentos... Este sonho também é de vocês.

Aos meus amigos e colegas, deixo meu carinho e agradecimento por estarem ao meu lado, acompanhando cada etapa desse processo. Cada conversa, cada apoio, cada risada e cada ombro amigo fizeram toda a diferença.

Agradeço à todos que colaboraram para a realização deste estudo, a disponibilização da estrutura, dados e profissionais para que a pesquisa pudesse ser conduzida de forma completa e responsável. Registro minha gratidão a todos os colaboradores que participaram das entrevistas, compartilharam conhecimentos e contribuíram com informações essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à UFGD como um todo, instituição que acolheu minha trajetória acadêmica e me proporcionou conhecimento, oportunidades e crescimento pessoal e profissional. Estendo minha gratidão a todos os técnicos, servidores, pesquisadores, gestores e colaboradores que, muitas vezes de maneira silenciosa, tornam possível o funcionamento da universidade e contribuem diretamente para a formação de milhares de estudantes. Em especial, aos professores do curso de Engenharia de Produção, que diariamente se dedicam a ensinar, inspirar e nos motivar a extrair o melhor de nós mesmos.

Ao meu orientador, professor Lucas Deliberador, registro meu sincero agradecimento pela orientação, pela paciência, pela disponibilidade e pelo apoio fundamental para a construção deste trabalho.

Por fim, agradeço à banca examinadora por aceitar este convite e participar deste momento tão significativo da minha trajetória acadêmica.

“É justo que muito custe, o que muito vale.”
Santa Teresa D’Avila

RESUMO

O setor sucroenergético brasileiro possui elevada relevância na transição energética, e a torta de filtro constitui um subproduto importante para a eficiência operacional e a gestão ambiental, devido ao seu potencial agronômico e ao elevado teor de fósforo e matéria orgânica. Este estudo analisou a gestão da torta de filtro em uma usina sucroalcooleira localizada no sul de Mato Grosso do Sul e identificou ações capazes de otimizar seu controle e aproveitamento. A torta é gerada após a decantação do caldo, no filtro prensa, e pode indicar ineficiências operacionais quando apresenta elevado teor de açúcares ou umidade excessiva. A pesquisa adotou um estudo de caso único, fundamentado em revisão bibliográfica, aplicação de questionário semiestruturado, visita técnica e análise qualitativa de conteúdo. Os resultados demonstraram que os principais indicadores monitorados incluem Polarização (Pol), Umidade e Açúcares Totais Recuperáveis (ATR), com metas de Pol inferior a 1,2% e umidade entre 64% e 70%. Verificou-se que a Pol se manteve acima do limite, evidenciando perdas de sacarose, embora a umidade permanecesse dentro da faixa ideal. Além disso, problemas operacionais, como vazamentos no vácuo, raspas desalinhadas e telas danificadas, comprometem a eficiência da filtração, caracterizando os filtros como um potencial gargalo industrial. As ações atuais de melhoria incluem testes com diferentes polímeros, ajustes de pH do lodo e monitoramento laboratorial diário. A torta é destinada ao pátio de compostagem e aplicada como fertilizante nas lavouras. Dessa forma, recomenda-se a adoção de um controle automático de pH e de manutenção preventiva das telas, reforçando que a gestão adequada da torta de filtro contribui para a produção mais limpa (P+L) e para a economia circular no setor sucroenergético. Em termos teóricos, o estudo amplia a compreensão dos fatores que influenciam a eficiência da filtração no setor sucroenergético, enquanto, do ponto de vista gerencial, oferece subsídios práticos para aprimorar o controle operacional e a valorização agronômica da torta de filtro.

Palavras-chave: torta de filtro; setor sucroalcooleiro; eficiência operacional; filtro prensa; filtração.

ABSTRACT

The Brazilian sugar-energy sector holds substantial importance in the context of the energy transition, and filter cake constitutes a key by-product for operational efficiency and environmental management due to its agronomic potential and high levels of phosphorus and organic matter. This study examined the management of filter cake in a sugar-ethanol mill located in southern Mato Grosso do Sul and identified actions capable of optimizing its control and utilization. Filter cake is generated after juice decantation in the filter press and may indicate operational inefficiencies when it presents high sugar content or excessive moisture. The research employed a single case study supported by a literature review, a semi-structured questionnaire, a technical visit, and qualitative content analysis. The results showed that the main indicators monitored include Polarization (Pol), Moisture, and Total Recoverable Sugars (ATR), with targets of Pol below 1.2% and moisture between 64% and 70%. It was observed that Pol remained above the established limit, indicating sucrose losses, although moisture stayed within the ideal range. Moreover, operational issues such as vacuum leaks, misaligned scrapers, and damaged screens compromise filtration efficiency, characterizing the filters as a potential industrial bottleneck. Current improvement actions include testing different polymers, adjusting the sludge pH, and conducting daily laboratory monitoring. The filter cake is sent to the composting yard and applied as fertilizer in the fields. Accordingly, the adoption of automatic pH control and preventive maintenance of the screens is recommended, reinforcing that proper management of filter cake contributes to cleaner production (CP) and to the circular economy within the sugar-energy sector. Theoretically, the study expands the understanding of the factors that influence filtration efficiency in the sugar-energy industry, while from a managerial perspective it offers practical insights to enhance operational control and the agronomic valorization of filter cake.

Keywords: filter cake; sugarcane industry; operational efficiency; filter press; filtration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Estrutura do Trabalho de Conclusão de Curso.....	05
Figura 2.1 – Hierarquia de prioridade para o gerenciamento dos resíduos sólidos.....	08
Figura 2.2 – Gestão ambiental e suas partes interessadas	09
Figura 2.3 – Processos de uma indústria sucroalcooleira	17
Figura 2.4 – Principais subprodutos gerados na indústria sucroalcooleira.....	18
Figura 3.1 – Modelo para construção de estudo de caso na Engenharia de Produção	22
Figura 4.1 – Lodo proveniente do decantador.....	25
Figura 4.2 – Fluxograma do setor sucroalcooleiro da usina analisada.....	27
Figura 4.3 – Vista superior do filtro prensa.....	28
Figura 4.4 – Formação da torta após a prensagem	29
Figura 4.5 – Valores da Pol da torta na safra 2024/2025	33
Figura 4.6 – Valores da umidade da torta na safra 2024/2025	34
Figura 4.7 – Tela filtrante utilizada na retenção de sólidos do caldo	35
Figura 4.8 – Flautas de lavagem de tela.....	37
Figura 4.9 – Torta de filtro sendo depositada no caminhão após passagem pelo filtro prensa.	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Classificação dos resíduos quanto as suas características	11
Quadro 2.2 – Classificação dos resíduos quanto à origem e periculosidade.....	12
Quadro 3.1 – Características do entrevistado	24
Quadro 4.1 – Síntese dos resultados por categoria de análise	39
Quadro 4.2 – Análise de falhas no setor de tratamento de caldo e geração de torta	42
Quadro 4.3 – Aplicação dos princípios da P+L ao processo de filtração.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABREMA	Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente
ATR	Açúcar Total Recuperável
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ONU	Organização das Nações Unidas
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PME's	Pequenas e médias empresas
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
POL	Polarização
Proálcool	Programa Nacional do Álcool
RE	Resíduos especiais
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UFGD	Universidade Federal da Grande Dourados
VHP	<i>Very High Polarization</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	01
1.1 Contextualização	01
1.2 Problema de pesquisa	01
1.3 Objetivos.....	03
1.4 Justificativa.....	03
1.5 Estrutura do trabalho	04
2 REFERENCIAL TEÓRICO	06
2.1 A relação entre os resíduos e as organizações.....	06
2.2 Gestão ambiental	08
2.2 Classificações e características dos resíduos sólidos.....	10
2.3.1 Gerenciamento dos resíduos sólidos.....	13
2.4 A importância das usinas sucroalcooleiras no Brasil	15
2.5 Subprodutos da indústria sucroalcooleira.....	17
3 MÉTODO DE PESQUISA	21
3.1 Pesquisa bibliográfica.....	21
3.2 Estudo de caso	21
3.3 Unidade de análise.....	23
3.4 Instrumento de coleta de dados	23
3.5 Análise dos dados	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1 Apresentação do processo de produção da torta de filtro	25
4.2 Categorias analisadas.....	30
4.2.1 Categoria 1: Geração e controle da torta de filtro	30
4.2.2 Categoria 2: Indicadores e eficiência operacional.....	31
4.2.3 Categoria 3: Impactos no processo produtivo	35
4.2.4 Categoria 4: Melhorias e controle técnico.....	36
4.2.5 Categoria 5: Coleta, armazenamento e destinação final.....	37
4.3 Oportunidades de melhoria operacional e ambiental	40
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
5.1 Implicações teóricas	44
5.2 Implicações gerenciais.....	45
5.3 Limitações	45
5.4 Oportunidades para estudos futuros	46
REFERÊNCIAS.....	47
APÊNDICE A	52

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo introduz o cenário em que a pesquisa se insere, enfatizando a relevância da torta de filtro para o desempenho industrial e para as práticas de sustentabilidade no setor sucroenergético. O capítulo também apresenta a questão central que orienta o estudo, descreve os objetivos propostos e explica os motivos que justificam sua realização. Ao final, é delineada a estrutura do trabalho, indicando como os próximos conteúdos estão organizados.

1.1. Contextualização

O setor sucroenergético brasileiro apresenta elevada relevância econômica, social e ambiental, posicionando o país entre os maiores produtores mundiais de açúcar e etanol. Além de impulsionar a cadeia do agronegócio, contribuindo para a geração de empregos e o desenvolvimento regional, o setor desempenha papel estratégico na transição energética, uma vez que o etanol é considerado um biocombustível de baixa emissão de gases de efeito estufa, alinhado às metas de descarbonização nacionais (EPE, 2023).

No âmbito industrial, a etapa de tratamento do caldo, responsável pela clarificação e remoção de impurezas, gera como subproduto a torta de filtro. Esse material, composto por fibras vegetais, solo, compostos orgânicos e açúcares residuais, representa um indicador importante de eficiência operacional, pois a presença de quantidades excessivas ou altos teores de umidade e Pol pode sinalizar perdas de sacarose, impactando negativamente a produtividade e a lucratividade da indústria (Silva et al., 2023).

Ao mesmo tempo, a torta de filtro apresenta elevado potencial para gestão ambiental, funcionando como coproduto com relevância agronômica. Com altos teores de fósforo e matéria orgânica, sua aplicação no solo pode substituir parcialmente ou totalmente fertilizantes minerais convencionais, além de melhorar as propriedades físicas e biológicas do solo. Dessa forma, essa utilização fortalece práticas de gerenciamento ambiental e a otimização de insumos, contribuindo para a sustentabilidade do setor (Oliveira; Cavichioli, 2025).

1.2. Problema de pesquisa

Durante o processamento industrial da cana-de-açúcar, diversas irregularidades podem comprometer a eficiência operacional, resultando em perdas de sacarose e geração excessiva de resíduos. Na etapa de filtração do tratamento do caldo, falhas como dosagens inadequadas

de insumos químicos, problemas de manutenção e variações processuais podem ocasionar aumento na produção de torta de filtro, bem como elevação dos teores de Pol e umidade desse coproducto (Speratti et al., 2018). Esses desvios refletem a falta de padronização operacional e a ausência de monitoramento sistemático de indicadores críticos, contribuindo para perdas industriais relevantes.

O processo de filtração na indústria sucroalcooleira, responsável pela formação da torta de filtro, é fundamental tanto na eficiência industrial quanto na gestão ambiental da usina. Entretanto, observa-se que a ausência de práticas padronizadas de controle técnico, associada à carência de ações voltadas à melhoria operacional, pode resultar em perdas de sacarose, instabilidade na qualidade do subproduto e dificuldades no manejo e na destinação adequada do resíduo gerado.

Quando apresenta altos níveis de sacarose e umidade, a torta de filtro deixa de ser apenas um desperdício econômico, decorrente da menor recuperação de açúcares, e torna-se um desafio logístico e ambiental. O maior volume transportado exige mais recursos e pode intensificar impactos no destino final do coproducto (Stickland et al., 2016). Além disso, a não conformidade desses parâmetros compromete o aproveitamento agrícola da torta, reduzindo seu potencial de fertilização do solo e a mitigação do uso de insumos químicos, aspectos centrais para a sustentabilidade e a gestão ambiental no setor sucroenergético (Silva et al., 2023).

Estudos indicam que usinas que não realizam monitoramento e controle rigoroso da torta de filtro podem apresentar perdas industriais superiores às referências setoriais, resultando em menor eficiência global do processo e impacto negativo no rendimento econômico e energético da produção (Gonçalves et al., 2021). Nesse contexto, torna-se essencial compreender os fatores operacionais que influenciam negativamente esses indicadores, a fim de identificar oportunidades de melhoria e propor ações corretivas baseadas em dados.

Avaliar como as gerenciais vêm sendo conduzidas na indústria sucroenergética permite identificar lacunas nos procedimentos operacionais, na eficiência do processo e no cumprimento de diretrizes ambientais. A partir dessa análise, podem ser propostas medidas de otimização que contribuam simultaneamente para o ganho econômico, a melhoria da performance industrial e a sustentabilidade ambiental das operações. Diante do exposto, formula-se o seguinte problema de pesquisa: ***Como é a gestão da torta de filtro no processo sucroenergético e quais ações podem ser adotadas para otimizar o seu controle e aproveitamento?***

1.3. Objetivos

Este trabalho teve como objetivo geral analisar a gestão da torta de filtro no processo sucroenergético, desde sua geração até a destinação final, visando identificar oportunidades de melhoria operacional e ambiental.

Para atingir este objetivo, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- (a) Avaliar a geração e o controle da torta de filtro nas etapas do processo sucroalcooleiro;
- (b) Identificar os indicadores utilizados para monitorar a eficiência da filtração;
- (c) Verificar os impactos da torta de filtro no desempenho produtivo;
- (d) Levantar ações e boas práticas voltadas à melhoria e ao controle técnico;
- (e) Analisar as formas de coleta, armazenamento e destinação final do resíduo.

1.4. Justificativa

A indústria sucroenergética é estratégica para a economia brasileira, destacando-se pela produção de energia renovável, etanol e açúcar, além do aproveitamento de seus subprodutos. Apesar dos avanços tecnológicos, persistem desafios operacionais relacionados à eficiência produtiva e ao gerenciamento de resíduos industriais. Entre esses resíduos, a torta de filtro, gerada na etapa de clarificação do caldo, apresenta relevância significativa tanto pela quantidade produzida quanto pelas possíveis perdas de açúcares agregadas ao material, resultando em menor rendimento industrial e aumento dos custos de processamento e transporte.

Ao mesmo tempo, a torta de filtro possui potencial para reaproveitamento na fertilização agrícola e na melhoria das características físico-químicas do solo, reforçando sua importância dentro de uma perspectiva de economia circular e de gestão ambiental. Diante disso, é essencial desenvolver análises que permitam compreender o comportamento operacional da torta de filtro, avaliando sua geração, composição e indicadores de eficiência industrial e ambiental. Estudos desse tipo apoiam a tomada de decisão para otimizar o processo de filtração e promover o melhor aproveitamento do resíduo, alinhando-se a práticas de gestão ambiental.

Essa abordagem também se relaciona diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas, especialmente no que se refere à inovação industrial e ao aumento da eficiência produtiva (ODS 9), à produção responsável com adequada destinação de resíduos (ODS 12) e à mitigação de impactos ambientais, incluindo emissões e manejo de subprodutos (ODS 13 e ODS 15).

Portanto, a realização deste estudo justifica-se pela necessidade de aprofundar o entendimento sobre os fatores que influenciam a geração da torta de filtro e as perdas industriais associadas, visando estabelecer indicadores que orientem melhorias no processo sucroenergético, promovam práticas sustentáveis, reduzam desperdícios e aumentem a competitividade do setor, fortalecendo uma atuação industrial eficiente e ambientalmente responsável.

1.5. Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. O Capítulo 1 apresenta a introdução, contextualizando o tema, o problema de pesquisa, os objetivos e a relevância do estudo. O Capítulo 2 aborda o referencial teórico, apresentando os conceitos sobre os resíduos e as organizações, a gestão ambiental, as classificações e características dos resíduos sólidos, o gerenciamento e manejo dos resíduos sólidos, a importância das usinas sucroalcooleiras no Brasil e os subprodutos da indústria sucroalcooleira, com foco na torta de filtro.

O Capítulo 3 descreve o método de pesquisa adotado, apresentando as etapas da pesquisa empírica, o instrumento de coleta de dados, bem como os procedimentos para análise das informações obtidas. O Capítulo 4 reúne os resultados e as discussões, analisando o cenário operacional da usina estudada, comparando os achados com a literatura e identificando oportunidades de melhoria relacionadas ao controle da torta de filtro. Finalmente, o Capítulo 5 traz as considerações finais, destacando as contribuições teóricas e gerenciais, as limitações do estudo e sugestões para trabalhos futuros.

A Figura 1.1 apresenta de forma visual a estrutura e o encadeamento do presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

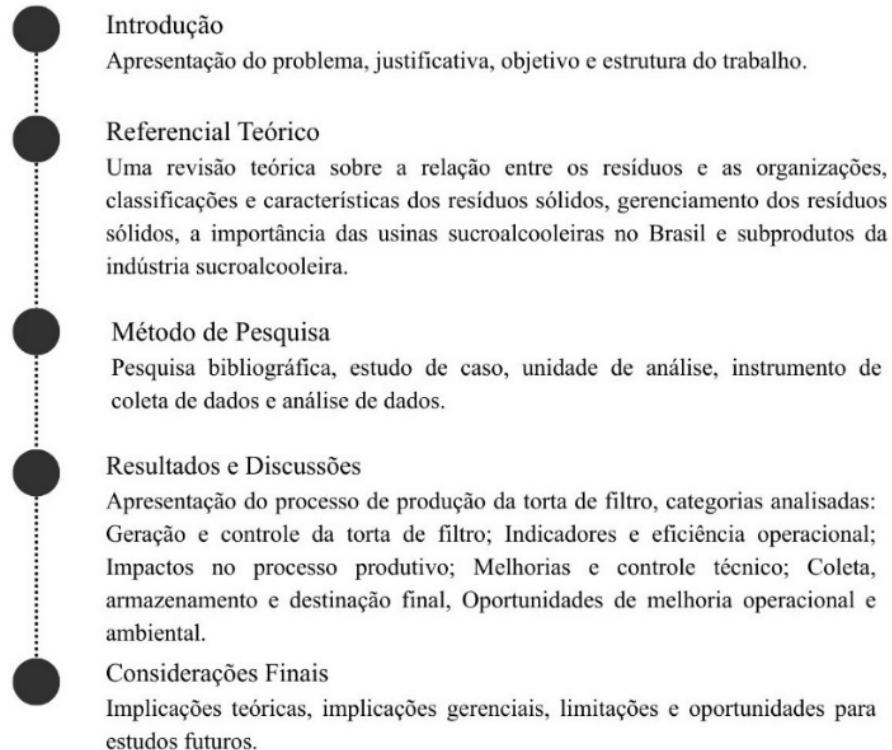


Figura 1.1 – Estrutura do Trabalho de Conclusão de Curso.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico que fundamenta este estudo, abordando de forma abrangente os principais conceitos relacionados à gestão de resíduos sólidos industriais, com foco especial nas usinas sucroalcooleiras. São discutidos temas como a relação entre resíduos e as organizações, classificações e características dos resíduos sólidos, práticas de gerenciamento, logística reversa e os impactos ambientais associados. Além disso, destaca-se o papel estratégico das usinas sucroalcooleiras no cenário nacional e os principais subprodutos resultantes de seus processos produtivos, estabelecendo as bases conceituais necessárias para a pesquisa empírica.

2.1. A relação entre os resíduos e as organizações

A Revolução Industrial foi um grande marco na história da humanidade, transformando todo o sistema produtivo ao estabelecer novas relações humanas e o uso dos recursos naturais. Com o crescimento exponencial da produção e do consumo, os impactos ambientais tomaram altas proporções, evidenciados pela acumulação significativa de resíduos que ameaçam o equilíbrio do planeta Terra. Além disso, o aumento da população também contribui para a intensificação do problema dos resíduos, uma vez que demanda uma maior produção de alimentos e bens de consumo direto (Ribeiro-Rodrigues; Bortoleto; Costa Fracalanza, 2021).

Estima-se que a população mundial deva crescer até 9,8 bilhões de pessoas até 2050. Para alimentar essa população, a Organização das Nações Unidas (ONU) indica que será necessário, por exemplo, aumentar a produção de alimentos em até 70%. Para atender a essas necessidades, a transformação contínua de matéria-prima em produtos finais gera uma variedade de resíduos, diminuindo as áreas disponíveis para disposição final e exacerbando a pressão sobre o meio ambiente. De acordo com a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA), em 2022, foram geradas aproximadamente 77 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil.

Os impactos ambientais sofridos pelo meio ambiente através do mau gerenciamento dos resíduos são como poluição do ar, contaminação do solo, das águas superficiais e de lençóis freáticos, riscos à saúde pública, problemas socioeconômicos, poluição visual, mau odor e desvalorização imobiliária. As organizações têm uma responsabilidade significativa com relação a esses problemas enfrentados pelo meio ambiente. Nos últimos anos, as preocupações

com processos que afetam o meio ambiente têm ganhado maior relevância nas organizações, impulsionadas pela crescente conscientização de toda a população (Martins; Ribeiro, 2021).

Para que as empresas tenham seus princípios alinhados com a sustentabilidade e implementem um bom gerenciamento de resíduos, é necessário se alinharem às competências humanas. Dessa forma, as empresas devem investir no desenvolvimento e capacitação de suas equipes, promovendo práticas sustentáveis e a conscientização sobre a importância de um gerenciamento de resíduos eficiente (Garlet et al., 2024). A partir disso, as empresas vêm adotando novas abordagens para a gestão ambiental para se adequar às normas ambientais e agregar valor aos seus produtos, a fim de sensibilizar o consumidor. A adoção de práticas sustentáveis se torna um diferencial em relação a concorrências e pode trazer diversos benefícios para a empresa.

A gestão adequada dos resíduos deve não só desenvolver um plano para gerenciar os resíduos e fazer sua disposição correta, mas também deve priorizar a redução da fonte de geração. A adoção de tecnologias mais eficientes, o reaproveitamento de materiais e a melhoria nos processos são formas de reduzir a geração de resíduos por meio da sua origem. No contexto brasileiro, o país gera cerca de 80 milhões de toneladas de resíduos sólidos por ano, dos quais apenas 4% passam por um processo de reaproveitamento ou reciclagem, sendo que o restante é disposto em local inadequado, como, por exemplo, nos lixões (Da Silva; Zanchi; Lopes, 2023).

Os resíduos possuem valores tanto econômicos como sociais, visto que o trabalho dos catadores de lixo é fonte de sustento para várias famílias e a reciclagem gera outros tipos de serviços para a sociedade. Além de diminuir os impactos ambientais, a gestão de resíduos dentro de uma empresa tem menor custo econômico, já que de uma forma ou outra os resíduos necessitam de uma disposição final (Baharum; Pitt, 2010; Valencia; Solíz; Yépez, 2023). A Organização das Nações Unidas (ONU) descreve que a não geração de resíduos deve ser priorizada, através de mudanças dos padrões de produção e consumo. Logo após, a ordem de prioridade é a reutilização, reciclagem, tratamento e gerenciamento dos resíduos e disposição final adequada com cada tipo de resíduo (Figura 2.1).

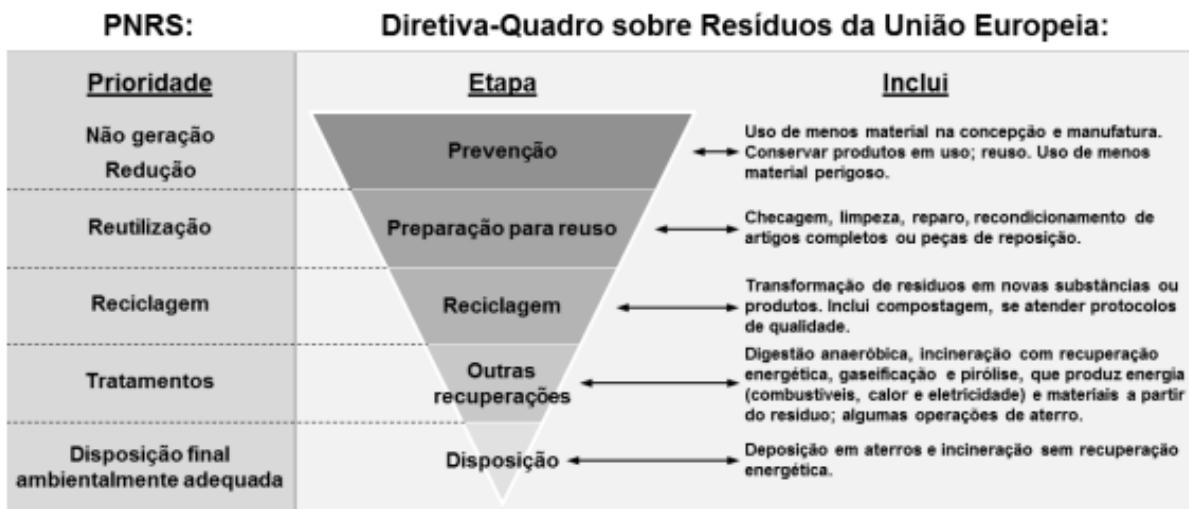


Figura 2.1 – Hierarquia de prioridade para o gerenciamento dos resíduos sólidos.

Fonte: Palermo, Branco e Freitas (2020).

2.2. Gestão ambiental

A gestão ambiental resulta de um conjunto de ações que envolvem: a identificação dos problemas ambientais e seus impactos; a análise das demandas sociais e o comprometimento político diante dessas questões; a formulação e implementação de políticas ambientais; e o monitoramento para assegurar a eficácia das ações implementadas. No Brasil, a partir da década de 1980, a questão ambiental passou a ganhar maior destaque e ter relevância nas discussões e nas políticas públicas. Nesse contexto, a criação da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), cuja finalidade é a preservação, recuperação e melhoria da qualidade ambiental em favor da vida, atribuiu responsabilidades ambientais aos governos nas esferas federal, estadual e municipal (Dantas; Passador, 2020).

Segundo Silva et al. (2020), no âmbito industrial a gestão ambiental está diretamente relacionada aos impactos que uma organização pode gerar por meio de suas atividades. Assim, a responsabilidade pelo manejo adequado envolve todos os participantes dos processos, desde a alta gestão até os colaboradores operacionais. As organizações têm demonstrado um crescente interesse pelas questões ambientais, impulsionado tanto pelas regulações governamentais quanto pelos interesses dos seus *stakeholders*. Como ilustrado na Figura 2.2, as relações entre as partes interessadas na gestão ambiental de uma empresa refletem essa dinâmica. No centro, o agente responsável por implementar políticas e ações voltadas à sustentabilidade ambiental, com o auxílio do governo através de incentivos fiscais. Os agentes a montante, ou seja, os fornecedores, atuam para garantir que a cadeia de suprimentos seja responsável ambientalmente, juntamente com os agentes a jusante, que são os distribuidores ou clientes que

fazem elo com o consumidor final, garantindo práticas sustentáveis ao longo da cadeia. Os colaboradores internos precisam ser conscientizados para aderirem às práticas dentro da empresa e os consumidores, por sua vez, o consumo consciente é determinante para a valorização da cadeia (Domingues; Mazhar; Bull, 2023).

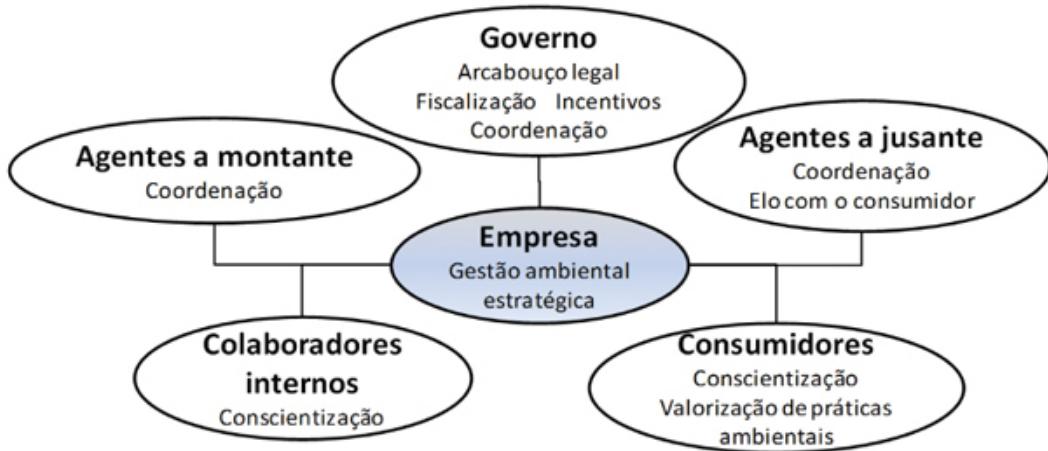


Figura 2.2 – Gestão ambiental e suas partes interessadas
Fonte: Bánkuti e Bánkuti (2014).

O novo paradigma competitivo demanda que as organizações elevem as estratégias ambientais ao nível da alta gestão, integrando o impacto ambiental às iniciativas voltadas para o aumento da produtividade e da competitividade. Nesse contexto, o processo decisório deve ser orientado por um modelo de produtividade dos recursos, em vez de se concentrar exclusivamente no controle da poluição. Sob essa perspectiva, a competitividade econômica e a melhoria ambiental tornam-se interdependentes, pois a inovação tem o potencial de aprimorar simultaneamente a qualidade e reduzir os custos (Bánkuti; Bánkuti, 2014; Córcoles; Triguero, 2025).

Do mesmo modo, o consumo excessivo, incentivado pelo modelo capitalista neoliberal, intensifica a exploração de recursos naturais e aumenta a geração de resíduos industriais, agravando a crise socioambiental global. Nesse contexto, torna-se essencial promover uma mudança cultural pautada no consumo responsável, incentivando práticas mais sustentáveis em toda a sociedade (Teixeira; Pilau Sobrinho; Truccolo Reato, 2024).

A norma ISO 14001, principal referência internacional para a gestão ambiental, estabelece requisitos para a implementação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) eficaz, voltado à melhoria contínua do desempenho ambiental das organizações. Ela destaca a flexibilidade das organizações na definição de metas ambientais, permitindo que cada empresa adapte suas práticas conforme sua realidade e contexto. A norma incentiva a identificação e

controle dos aspectos e impactos ambientais por meio de procedimentos internos estruturados. Para alcançar uma gestão eficaz, as organizações devem compreender e controlar seu ambiente por meio do entendimento de seus processos internos, utilizando o ciclo PDCA (Planejar, Executar, Verificar e Agir) como base para a melhoria contínua e tomada de decisões fundamentadas.

Entretanto, apesar dos benefícios da ISO 14001, sua adoção ainda representa desafios para pequenas e médias empresas (PME's), devido à complexidade de requisitos e aos custos associados à sua implementação e manutenção. Nesse sentido, políticas públicas e colaborações institucionais são essenciais para ampliar o acesso das empresas a ferramentas de gestão e promover uma abordagem global mais integrada à gestão de resíduos industriais (Puglieri et al., 2024).

2.3. Classificações e características dos resíduos sólidos

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 10.004, definem-se os resíduos sólidos como materiais sólidos ou semissólidos que resultam de atividades de origem industrial, comercial, doméstica, hospitalar, agrícola ou de serviços, sendo incluídos determinados líquidos que seja inviável seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água. Os resíduos sólidos possuem características em função de sua composição física e química, propriedades biológicas e comportamento, conforme apresentado no Quadro 2.1. Esses fatores determinam como os resíduos interagem com o meio ambiente e influenciam a escolha de métodos de tratamento, reciclagem, disposição final e a viabilidade de técnicas de reaproveitamento energético, como a compostagem ou a biodigestão.

A natureza física distingue resíduos secos, como papel, plástico e vidro, que possuem baixo teor de umidade e, em muitos casos, são recicláveis, dos resíduos molhados, compostos por matéria orgânica úmida e facilmente degradável, como restos de alimentos. A natureza química separa os resíduos em orgânicos, de origem biológica e biodegradáveis, e inorgânicos, de origem não biológica, com baixa taxa de degradação, como metais e plásticos. A natureza biológica refere-se aos processos naturais de decomposição, como a biodegradação controlada e a deterioração mais ampla, que pode liberar gases e líquidos. Por fim, a natureza comportamental aborda os efeitos gerados durante o descarte, como a emissão de gases (especialmente metano) em aterros sanitários e a formação de chorume, um líquido poluente oriundo da decomposição de resíduos orgânicos (ABRELPE, 2023).

Quadro 2.1 – Classificação dos resíduos quanto as suas características

Categoria	Subcategoria	Definição	Exemplos
Físicas	Secos	Resíduos com baixo teor de umidade, predominantemente sólidos e não biodegradáveis, frequentemente associados a materiais recicláveis.	Papéis, plásticos, metais, tecidos, vidros, madeiras, pontas de cigarro, isopor, lâmpadas, cerâmicas, porcelanas, espumas.
	Molhados	Resíduos com alto teor de umidade, geralmente compostos por matéria orgânica de fácil decomposição.	Restos de alimentos, cascas de frutas e legumes, verduras, ovos, alimentos deteriorados.
Químicas	Orgânicos	Resíduos de origem biológica que podem ser naturalmente biodegradados por microrganismos em condições adequadas.	Pó de café e chá, cabelos, cascas e bagaços de frutas e legumes, ossos, restos vegetais, podas de jardim.
	Inorgânicos	Resíduos de origem não biológica, caracterizados por sua durabilidade e baixa taxa de degradação natural.	Plásticos, vidros, borrachas, tecidos sintéticos, alumínio, ferro, isopor, parafina.
Biológicas	Biodegradação	Processo pelo qual resíduos orgânicos são decompostos por ação biológica, sem causar impactos ambientais significativos.	Restos de comida em decomposição, folhas secas compostadas, resíduos vegetais.
	Decomposição	Processo natural de deterioração de resíduos ao longo do tempo, com possível liberação de subprodutos como gases e líquidos.	Restos alimentares apodrecendo, folhas em processo de compostagem, resíduos orgânicos deteriorando em ambiente natural.
Comportamentais	Emissão de gases	Liberação de gases, como o metano, decorrente da decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos em ambientes sem oxigênio.	Geração de metano em aterros sanitários a partir de resíduos orgânicos.
	Produção de chorume	Formação de líquido poluente resultante da percolação de água por resíduos orgânicos em decomposição, comum em aterros e lixões.	Líquido escuro e contaminante gerado em depósitos de resíduos orgânicos em decomposição, especialmente sob efeito de chuvas.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Devido à sua heterogeneidade, os resíduos podem ser classificados de diversas formas, incluindo a partir das fontes de produção, tipo de material, composição química, propriedades ou grau de perigosidade. A classificação adequada dos resíduos é importante para um gerenciamento eficiente, pois facilita a identificação dos riscos ao meio ambiente e a adoção de boas práticas ambientais (Hariyani et al., 2025).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), instituído pela Lei nº 6.938/1981, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), define normas e critérios para garantir a preservação do meio ambiente. Suas diretrizes abrangem o controle da poluição, a gestão de resíduos sólidos, o licenciamento ambiental e a conservação dos recursos

naturais. Em 2010, foi implementada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), responsável por reunir os objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações a serem adotados, buscando a gestão ambiental adequada dos resíduos sólidos.

Conforme a Lei Federal 12.305/2010, cada organização tem a responsabilidade de fazer a destinação e disposição final correta de seus resíduos de forma que cause o menor impacto possível ao meio ambiente. Esses estabelecimentos devem seguir um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, para que todo o processo possa ser feito de forma clara e objetiva com transparência para os consumidores e a legislação (BRASIL, 2010). A Lei 12.305/10 também faz a classificação dos resíduos segundo a sua origem e periculosidade. Essa classificação auxilia na identificação da origem dos resíduos e dos impactos que eles podem causar ao meio ambiente. No Quadro 2.2 são apresentadas as divisões dessas classificações de acordo com a PNRS.

Quadro 2.2 – Classificação dos resíduos quanto à origem e periculosidade

	Tipo de resíduo	Fonte
Quanto à origem ...	A. Resíduos domiciliares	Originários de atividades domésticas em residências urbanas.
	B. Resíduos de limpeza urbana	Originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, etc.
	C. Resíduos sólidos urbanos	Englobados os resíduos domiciliares e de limpeza urbana.
	D. Resíduos comerciais e prestadores de serviços	Resultante dessas atividades, exceto os referidos nos itens B, E, G, H e J.
	E. Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico	Gerados nessas atividades, exceto os incluídos no item C.
	F. Resíduos industriais	Gerados nos processos produtivos e instalações industriais.
	G. Resíduos do serviço de saúde	Provenientes do serviço de saúde conforme regulamento e normas estabelecidas pelo SISNAMA e SNVS.
	H. Resíduos da construção civil	Provenientes de construções, reformas, reparos e demolições, incluindo a escavação e preparação de terrenos em obras civis.
	I. Resíduos agrossilvopastorais	Gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluindo os insumos utilizados nessas atividades.
	J. Resíduos de serviços de transporte	Originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira.
Quanto à periculosidade ...	K. Resíduos de mineração	Gerados em atividades de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.
	L. Resíduos perigosos	Apresentam riscos à saúde pública ou à qualidade ambiental em razão de sua inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, de acordo com lei, regulamento ou norma.
	M. Resíduos não perigosos	Não enquadrados no item L.

Fonte: Adaptado de Brasil (2010).

De acordo com Gameiro (2010), os resíduos sólidos podem ainda ser agrupados em duas grandes categorias: resíduos sólidos urbanos (RSU) e resíduos especiais (RE). Os RSU incluem resíduos domésticos ou residenciais, comerciais e públicos. Por outro lado, os RE englobam resíduos industriais, da construção civil, radioativos, gerados em portos, aeroportos e terminais rodoviários, além dos resíduos agrícolas e aqueles provenientes de serviços de saúde. No contexto industrial, objeto de estudo deste trabalho, os resíduos gerados por suas atividades são classificados como resíduos especiais, pertencendo à categoria de resíduos industriais, podendo ser classificados ainda como resíduos perigosos e não perigosos.

2.3.1. Gerenciamento e manejo dos resíduos sólidos industriais

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), o gerenciamento dos resíduos sólidos compreende um conjunto de ações que devem ser realizadas de maneira ambientalmente adequada, conforme estabelecido no plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou no plano de gerenciamento de resíduos sólidos, conforme exigido por esta legislação (BRASIL, 2010).

A elaboração de indicadores voltados à sustentabilidade e específicos para a gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é de grande importância, pois oferece aos gestores informações técnicas fundamentais para embasar decisões no setor de resíduos. Além disso, esses indicadores permitem uma análise detalhada sobre a interação entre sociedade e meio ambiente. Nesse contexto, destaca-se a necessidade de implementar ferramentas que possibilitem uma avaliação ágil e prática desses dados, contribuindo para a eficiência na gestão dos RSU (Vieira et al., 2019).

Para que o gerenciamento dos resíduos sólidos seja eficaz, é necessário estabelecer etapas para serem seguidas no processo de manejo dos resíduos, sendo elas: segregação, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, disposição final adequada para os resíduos sólidos e destinação final para os rejeitos, ou seja, materiais que não é possível reutilizar ou reciclar (Pereira; Fiore, 2022).

A segregação é a separação dos resíduos conforme suas características, sendo mais comum a separação por periculosidade e tipo de material, como papel, vidro e plástico. No acondicionamento, cada material é armazenado em um recipiente adequado para evitar a exposição ao meio ambiente. A etapa seguinte é o armazenamento, onde os recipientes com os resíduos são mantidos até a coleta. Neste momento, os resíduos armazenados são retirados e direcionados para o transporte, que, conforme a NBR 13221/2003, deve realizar o transporte

dos resíduos até o local de tratamento ou destinação final, garantindo a conservação do veículo para evitar vazamentos. É importante ressaltar que o transporte de resíduos não deve ocorrer juntamente com produtos destinados ao consumo humano (Ani et al., 2023).

A destinação final dos resíduos varia de acordo com os tipos de resíduos e os tratamentos disponíveis na região em que se encontram. Essa destinação pode incluir reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético, visando a adequação ao meio ambiente. Além disso, a destinação final pode envolver a disposição dos rejeitos em aterros, de acordo com normas operacionais específicas, a fim de evitar danos ou riscos à saúde pública, especialmente para aqueles resíduos que não apresentam potencial de aproveitamento.

O plano de gerenciamento dos resíduos sólidos deve ser implementado em cada estabelecimento gerador de resíduos, em parceria com o poder público, já que a PNRS determina diversas responsabilidades tanto para o gerador quanto para o município (Bastos, 2015). O gerenciamento adequado dos resíduos sólidos contribui para a preservação dos recursos naturais, incluindo matéria-prima, energia e água, além de ser responsável pela geração de empregos.

A separação dos diferentes tipos de materiais recicláveis no local de origem oferece diversos benefícios, resultando em uma diminuição de custos nas próximas etapas. Além de promover a sustentabilidade, essa prática otimiza os recursos econômicos por meio da logística reversa. No final do ciclo de vida do produto, é fundamental possibilitar aos consumidores o descarte correto, de modo que os resíduos possam retornar à sua origem e ser reutilizados na produção de novos produtos. A eficiência na triagem está inversamente relacionada aos gastos mensais com a disposição final e diretamente associada à longevidade dos aterros sanitários. Nesse contexto, torna-se essencial implementar políticas de conscientização e divulgação ambiental, visando aumentar o desvio de resíduos para reciclagem e reduzir o volume destinado aos aterros sanitários (Galavote et al., 2023).

O fornecimento de informações por meio de programas educativos pode aprimorar a compreensão e a consciência da população, incentivando-a a realizar a separação de resíduos na fonte. Essas intervenções podem incluir campanhas de conscientização, treinamentos práticos, divulgação de informações, concursos de conhecimento e palestras voltadas à comunidade. Canais como *internet*, televisão, rádio, jornais, *slogans* publicitários e redes sociais também são ferramentas eficazes para esses fins (Heydari et al., 2021).

2.4. A importância das usinas sucroalcooleiras no Brasil

No âmbito da gestão ambiental, torna-se essencial compreender o papel estratégico desempenhado pelas usinas sucroalcooleiras, que não apenas impulsionam a economia nacional, mas também contribuem significativamente para a transição energética por meio da produção de biocombustíveis renováveis. O Brasil destaca-se como o maior produtor mundial do complexo sucroalcooleiro, liderando a produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), no seu levantamento mais recente, a safra 2024/2025 alcançou um volume estimado de 677 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. Esse protagonismo é resultado de investimentos contínuos em pesquisa agrícola, políticas públicas favoráveis e condições climáticas propícias, fatores que, em conjunto, proporcionaram elevada competitividade ao setor. A criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), na década de 1970, foi um marco que impulsionou significativamente a produção de etanol, consolidando o país como uma referência global na produção de biocombustíveis (CONAB, 2025).

A produção de cana-de-açúcar no Brasil concentra-se majoritariamente na região Centro-Sul, com destaque para o estado de São Paulo, responsável por mais de 50% da produção nacional (Coelho; Bragagnolo, 2024). A expansão da cultura canavieira nesta região foi acompanhada por importantes avanços tecnológicos, como a mecanização da colheita e o desenvolvimento de variedades mais produtivas, os quais contribuíram para o aumento da eficiência produtiva e a mitigação de impactos ambientais. Essas inovações foram fundamentais para a modernização do setor e o fortalecimento do agronegócio brasileiro (CONAB, 2025).

A região Centro-Oeste configura-se como a segunda maior produtora nacional de cana-de-açúcar, com uma produção estimada em aproximadamente 145,3 milhões de toneladas na safra analisada, representando um incremento de 0,2% em relação ao ciclo anterior. A área colhida apresentou uma expansão de 4%, totalizando 1,85 milhão de hectares. Contudo, a produtividade média foi estimada em 78.540 kg por hectare, o que representa uma redução de 3,7% em comparação à safra anterior (CONAB, 2025).

No estado de Mato Grosso do Sul, foco deste estudo, a safra 2024/2025 foi impactada por condições climáticas adversas, com volumes de chuva abaixo da média histórica e episódios de calor intenso, os quais contribuíram para a redução da produtividade dos canaviais. Na região norte do estado, as precipitações ocorridas a partir de novembro permitiram certa recuperação das áreas afetadas pela estiagem; no entanto, a seca durante o inverno causou prejuízos significativos em municípios como Chapadão do Sul e Costa Rica. Apesar dessas adversidades,

os problemas fitossanitários foram controlados, com destaque para o manejo eficiente da broca-da-cana e a redução da incidência de cigarrinhas e doenças fúngicas, favorecida pelo clima seco. No âmbito mercadológico, observou-se um aumento na produção de açúcar, impulsionado pela menor atratividade econômica do etanol e por melhores remunerações no mercado internacional. Simultaneamente, o etanol de milho ganhou relevância e competitividade. Ainda assim, houve uma queda na concentração de Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) por tonelada de cana, em comparação à safra anterior (CONAB, 2025).

As exportações brasileiras de açúcar mantiveram-se em níveis elevados, consolidando o Brasil como o principal fornecedor global do produto, com maior volume de embarques entre os meses de maio e outubro, período correspondente ao pico da moagem. Embora o volume exportado tenha se mantido estável na safra 2024/2025, totalizando 35,1 milhões de toneladas, a receita gerada apresentou uma queda de 8,2% em relação ao ciclo anterior, alcançando US\$ 16,7 bilhões. Essa redução foi atribuída à desvalorização dos preços internacionais, evidenciando a dependência do setor em relação ao mercado externo (CONAB, 2025).

Além da produção de açúcar e etanol, as usinas sucroalcooleiras brasileiras vêm investindo na cogeração de energia elétrica a partir do bagaço da cana-de-açúcar. Esse processo não apenas garante a autossuficiência energética das unidades industriais, como também permite o fornecimento de excedentes ao sistema elétrico nacional, promovendo o uso de fontes renováveis e contribuindo para a diversificação da matriz energética do país (Coelho Junior et al., 2024).

Entretanto, o setor ainda enfrenta desafios significativos no que se refere à sustentabilidade e à gestão adequada dos resíduos industriais. A intensificação da produção e a expansão das áreas cultivadas demandam práticas de manejo ambientalmente responsáveis, sobretudo no que tange ao tratamento e à destinação final dos resíduos gerados. A implementação de políticas eficazes de gestão ambiental, aliada ao cumprimento rigoroso das normas regulatórias, é condição essencial para garantir a sustentabilidade e a competitividade das usinas sucroalcooleiras no cenário nacional e internacional (Hiranobe et al., 2024).

A Figura 2.3 apresenta um fluxograma simplificado do processamento da cana-de-açúcar, evidenciando as etapas comuns e específicas destinadas à produção de açúcar e etanol. Inicialmente, a matéria-prima passa pelas fases de recepção, preparação e extração do caldo, que são etapas compartilhadas por ambos os processos. Após a extração, o caldo é submetido a tratamentos físico-químicos com o objetivo de concentrar a sacarose. A partir desse ponto, os fluxos se diferenciam: na produção de açúcar, o caldo concentrado segue para as etapas de cristalização e secagem, resultando no açúcar como produto final; já na rota de produção de

etanol, o caldo é direcionado à fermentação alcoólica, seguida das etapas de destilação, retificação e desidratação, culminando na obtenção do etanol anidro (Dias et al., 2015).

O fluxograma também evidencia a geração de subprodutos, como a água, presente em ambas as linhas de produção, e a torta de filtro, gerada nas etapas iniciais de tratamento do caldo. Esses subprodutos ressaltam a necessidade de adoção de estratégias eficientes de reaproveitamento hídrico e de gestão de resíduos sólidos. Dessa forma, o fluxograma contribui para a compreensão da integração entre os processos industriais e a identificação de pontos críticos que impactam diretamente na eficiência produtiva e na sustentabilidade do setor sucroenergético (Dias et al., 2015).

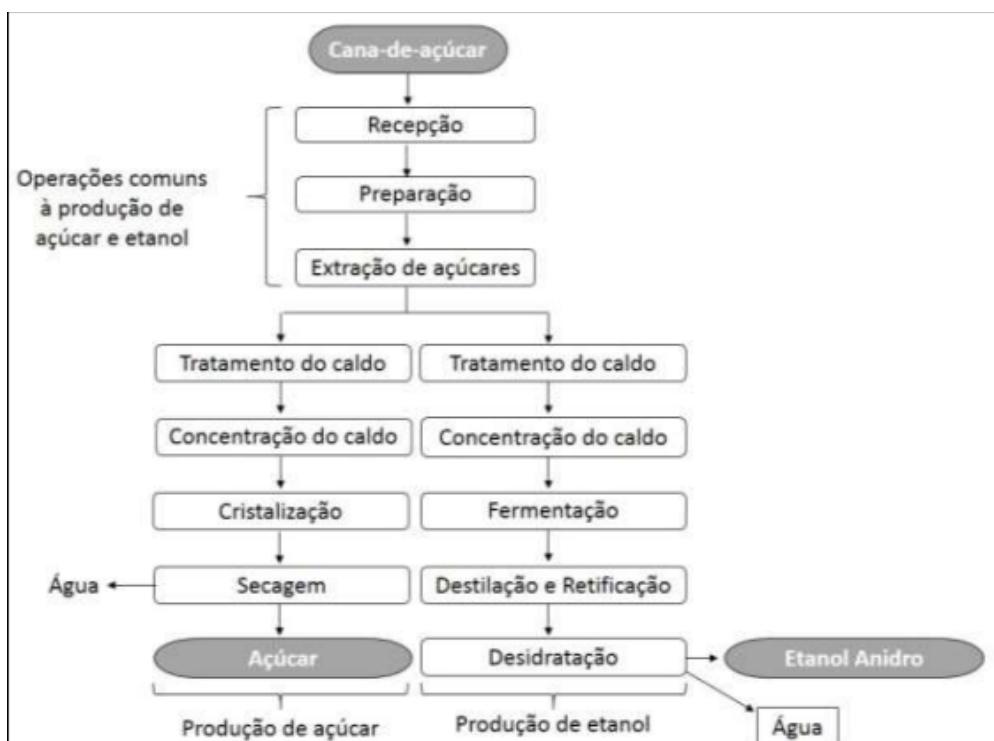


Figura 2.3 – Processos de uma indústria sucroalcooleira.

Fonte: Dias et al., (2015).

2.5. Subprodutos da indústria sucroalcooleira

A valorização dos resíduos por meio de sua transformação em subprodutos tem como objetivo destinar materiais que seriam descartados e potencialmente nocivos ao meio ambiente, para aplicações que agreguem valor econômico significativo, principalmente no âmbito industrial (Friedrichsen et al., 2022). Na Figura 2.4 é possível observar os principais subprodutos gerados na indústria sucroalcooleira e suas diferentes formas de reaproveitamento.

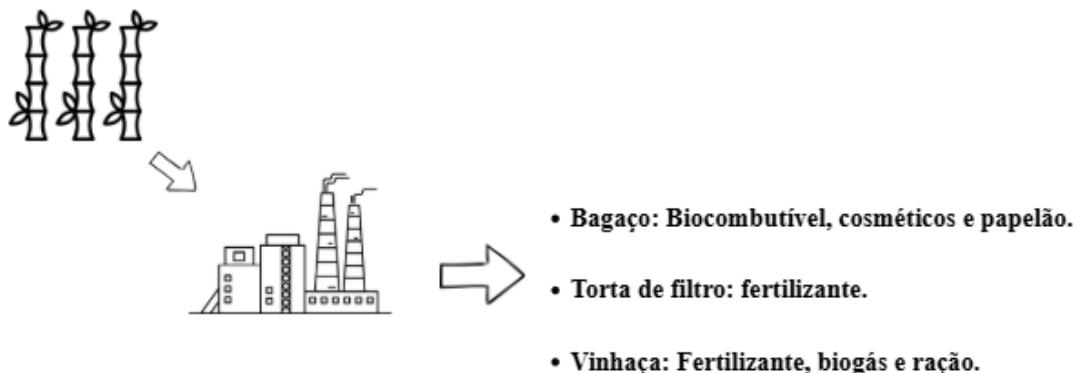


Figura 2.4 – Principais subprodutos gerados na indústria sucroalcooleira
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Durante a etapa de extração do caldo da cana-de-açúcar, é gerado um volume expressivo de bagaço, correspondendo a aproximadamente 30% da cana moída, constituindo-se como uma biomassa de grande relevância energética. No Brasil, cerca de 95% desse material é utilizado como combustível em caldeiras para geração de vapor e eletricidade, resultando em resíduo, a cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Entretanto, a disposição inadequada dessa cinza ainda é uma prática recorrente no setor sucroenergético, podendo acarretar impactos ambientais significativos. A cinza é composta majoritariamente por sílica, característica que lhe confere potencial para aplicações tecnológicas, destacando-se seu uso como adição mineral em composições cimentícias, permitindo a substituição parcial do cimento em argamassas e concretos e contribuindo para a redução da pegada ambiental desses materiais (Alvarenga; Cordeiro, 2024).

A torta de filtro, por sua vez, é um resíduo sólido resultante da etapa de clarificação do caldo de cana, formado a partir da mistura entre o lodo de decantação e o bagaço moído. A clarificação ocorre após a extração do caldo, com a adição de coagulantes, como o sulfato de cálcio, que promovem a sedimentação das impurezas orgânicas e inorgânicas. Esse lodo é então direcionado a filtros rotativos, que realizam a separação da torta de filtro. O material resultante possui textura pastosa, coloração escura e elevado teor de umidade. Estima-se que, para cada tonelada de cana-de-açúcar moída, sejam gerados de 20 a 30 quilos de torta de filtro (CONAB, 2024).

A composição desse resíduo é rica em matéria orgânica e nutrientes essenciais, como fósforo, nitrogênio, potássio, cálcio e micronutrientes, além de apresentar concentrações variáveis de metais pesados. Por essas características, a torta de filtro é frequentemente estudada como alternativa sustentável à fertilização convencional. Seu uso como fertilizante ou

condicionador de solo pode contribuir para a substituição parcial de insumos químicos, promovendo o reaproveitamento de resíduos e a redução dos impactos ambientais. No entanto, é imprescindível realizar análises da composição química de cada lote, a fim de evitar riscos de contaminação do solo e dos recursos hídricos (Christofoletti et al., 2013; Silva et al., 2023).

Do ponto de vista industrial, o estudo e o monitoramento da torta de filtro envolvem questões relevantes relacionadas à gestão de resíduos, ao controle de perdas, à eficiência dos processos e à sustentabilidade. A quantidade e a qualidade da torta gerada podem indicar falhas nas etapas de clarificação ou extração do caldo, afetando diretamente a produtividade e os custos operacionais. Além disso, estratégias de valorização desse subproduto podem gerar benefícios econômicos e ambientais às usinas, especialmente diante da crescente demanda por práticas sustentáveis no setor sucroenergético (Christofoletti et al., 2013; Silva et al., 2023).

A vinhaça é um subproduto líquido gerado predominantemente durante o processo de produção de etanol, embora também possa ser produzida, em menor escala, na fabricação de açúcar. Trata-se de um resíduo com alta carga orgânica e concentração significativa de nutrientes, como potássio, cálcio e enxofre, sendo frequentemente utilizado na agricultura por meio da fertirrigação (Pinto et al., 2022). No entanto, sua aplicação exige rigoroso controle técnico, pois o uso inadequado pode provocar impactos ambientais negativos, como a contaminação do lençol freático e a saturação do solo (Conceição et al., 2022).

Historicamente, antes da adoção do uso agrícola da vinhaça, sua destinação mais comum consistia no descarte em corpos hídricos situados nas proximidades das usinas, o que agravava os impactos ambientais. Atualmente, embora a fertirrigação represente uma estratégia reconhecida de Produção Mais Limpa (P+L), a elevada geração do subproduto ainda leva muitas usinas a aplicá-lo em volumes superiores aos recomendados. Nesses casos, a prática acaba funcionando como uma forma de descarte, comprometendo os benefícios ambientais originalmente propostos (Da Luz et al., 2024).

Nesse contexto, o acompanhamento sistemático dos indicadores de eficiência e controle de processo torna-se essencial para garantir o desempenho industrial e a adequada gestão dos subprodutos gerados. A adoção de métricas bem definidas permite identificar desvios operacionais, reduzir perdas e otimizar as etapas produtivas, contribuindo tanto para a eficiência econômica quanto para a sustentabilidade do processo sucroenergético. No contexto do tratamento de caldo, especialmente, o estabelecimento e o acompanhamento de indicadores de eficiência e controle de processo são essenciais para compreender o desempenho da clarificação e os fatores que influenciam a geração da torta de filtro. A literatura aponta que a torta é produzida em quantidades que podem variar significativamente conforme as condições

operacionais, situando-se entre 6 e 35 kg por tonelada de cana moída, o que a torna um importante parâmetro para avaliar eventuais falhas na decantação, dosagem de insumos ou operação dos filtros rotativos. Além da geração total, o teor de umidade é um indicador central, pois influencia diretamente o manuseio, o transporte e o aproveitamento agrícola da torta. Em publicações técnicas, esse valor costuma situar-se próximo a 70%, sendo recomendado seu monitoramento constante a fim de identificar problemas de drenagem, desgaste do meio filtrante ou acúmulo excessivo de lodo no clarificador (Silva et al., 2023).

A composição química da torta também representa um indicador de qualidade relevante, especialmente quando o subproduto é destinado à fertirrigação ou ao uso como condicionador de solo. Estudos demonstram que esse material é naturalmente rico em matéria orgânica e contém nutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio, o que contribui para sua eficiência agronômica quando aplicado em doses adequadas (Christofeletti et al., 2013). Pesquisas de campo reforçam esses resultados, indicando que a utilização da torta pode aumentar o perfilhamento da cana, melhorar a disponibilidade de fósforo e elevar a produtividade tanto de colmos quanto de açúcar, desde que o manejo seja realizado com critérios técnicos (Carmo et al., 2014; Franco et al., 2015). Dessa forma, o acompanhamento da composição do resíduo permite avaliar sua uniformidade e prever o impacto nutricional no solo, evitando riscos ambientais e garantindo retorno operacional.

Outro ponto importante é a construção de indicadores que relacionem o uso da torta à eficiência econômica. Pesquisas demonstram que a substituição parcial de fertilizantes minerais por torta de filtro representa uma alternativa viável e pode reduzir a dependência de insumos externos, especialmente no que se refere ao fósforo, cuja disponibilidade global é limitada e cuja produção depende de elevada demanda energética (Sousa et al., 2019). Assim, integrar indicadores de custo, produtividade e redução de insumos químicos permite que a usina avalie de maneira objetiva os benefícios financeiros do reaproveitamento desse subproduto.

Além disso, o monitoramento contínuo desses dados possibilita identificar rapidamente desvios operacionais que impactam a qualidade da clarificação, como variações de Pol da torta, excesso de lodo ou formação anormal de sólidos sedimentáveis. Indicadores como eficiência de clarificação, estabilidade da decantação e constância da formação do bolo filtrante ajudam a diagnosticar falhas nos pontos de dosagem de coagulantes, mudanças no pH, problemas de agitação, variações na temperatura do caldo ou desgaste dos equipamentos, permitindo que ações corretivas sejam aplicadas de forma preventiva (Galdino Jr. et al., 2019).

3. MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta o método de pesquisa adotado. O capítulo está estruturado iniciando pela pesquisa bibliográfica, estudo de caso, unidade de análise, e o instrumento utilizado para a coleta e análise dos dados.

3.1. Pesquisa bibliográfica

Para a elaboração desse estudo, inicialmente foi realizada uma revisão de escopo com a finalidade de buscar informações relevantes na literatura científica para o alcance dos objetivos propostos. Durante a revisão, foram conduzidas buscas em diversas bases científicas, incluindo: *Google Scholar, Scielo, Reserch Gate e Scopus*. Foram utilizadas também informações de entidades relacionadas ao gerenciamento de resíduos sólidos e órgãos governamentais, como a Organização das Nações Unidas (ONU), a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA), a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a Companhia de Abastecimento (CONAB). Na pesquisa bibliográfica foram adotadas as seguintes palavras-chave, também traduzidas em língua inglesa: resíduos industriais, gerenciamento dos resíduos, torta de filtro, gestão ambiental e setor sucroalcooleiro.

3.2. Estudo de caso

Segundo Miguel (2007), o estudo de caso é uma das abordagens metodológicas mais empregadas na Engenharia de Produção e na gestão de operações. Esse método possui um caráter empírico e tem como objetivo explorar fenômenos naturais em seus contextos reais. Geralmente, considera-se que as fronteiras entre o fenômeno e o contexto no qual ele está inserido não são claramente definidas, o que demanda uma análise aprofundada do objeto de estudo. O estudo de caso pode ser único, quando o pesquisador analisa apenas um caso, ou múltiplo, quando são analisados diversos casos (Yin, 2015). Assim, esta pesquisa optou pela utilização do estudo de caso único como método investigativo, visando caracterizar e analisar o contexto específico em que o trabalho foi desenvolvido.

Por meio do estudo de caso, é possível abordar uma mesma questão em diversos cenários dentro da organização ou avaliar diferentes questões no contexto empresarial (Voss; Tsikriktsis; Frohlich, 2002). Entre os principais benefícios de conduzir um estudo de caso,

destacam-se a oportunidade de desenvolver novas teorias e aprofundar o entendimento sobre eventos reais e contemporâneos (Miguel, 2012). Segundo Stake (1995), um estudo de caso busca capturar a complexidade total de um caso específico. Portanto, como método de pesquisa, ele foca na análise detalhada das particularidades e complexidades de um caso individual.

Neste estudo, o método aplicado segue as orientações de Miguel (2007), como apresentado na Figura 3.1. Iniciou-se o processo com a criação de uma estrutura conceitual-teórica baseada na pesquisa bibliográfica, para então definir os casos a serem analisados. Em seguida, elaboraram-se o questionário e o *checklist* do que seria observado no estudo de caso. Esses instrumentos passaram por um procedimento de teste-piloto para verificar a qualidade dos dados e fazer os possíveis ajustes necessários antes da coleta dos dados.

Após isso, entrou-se em contato com os voluntários de uma indústria sucroalcooleira que aceitaram participar da pesquisa. Foi aplicado um questionário e realizada uma visita técnica, juntamente com gestores e operadores, para a análise da eficiência da torta de filtro. Em seguida, após a coleta dos dados, foi realizada uma análise qualitativa de conteúdo do questionário, juntamente com as imagens obtidas na visita técnica, resultando na proposição de sugestões de melhorias gerenciais fundamentadas na literatura.

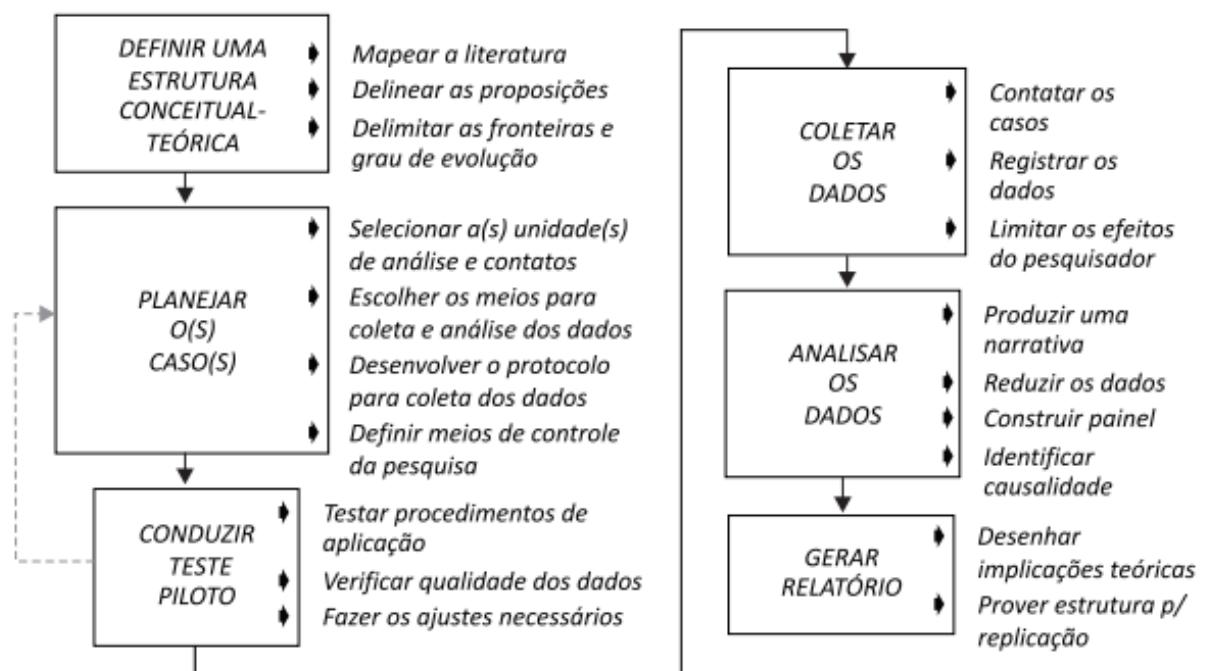


Figura 3.1 – Modelo para construção de estudo de caso na Engenharia de Produção
Fonte: Miguel (2007).

3.3. Unidade de análise

O estudo foi realizado em uma usina sucroalcooleira localizada na região sul do estado de Mato Grosso do Sul, com capacidade instalada para o processamento de 24.000 toneladas de cana-de-açúcar por dia. A unidade tem como principal produto o açúcar VHP (*Very High Polarization*), um tipo de açúcar bruto, com altíssima pureza (polarização geralmente acima de 99,3%), produzido principalmente para exportação e refino. Ele não é destinado ao consumo direto, mas sim para servir como matéria-prima na produção de outros açúcares e derivados. A produção industrial atingiu 82.259,495 toneladas na safra 2024/2025. A fabricação de etanol ocorre de forma complementar, conforme as demandas do mercado. Além dos produtos principais, a usina também realiza a exportação de energia elétrica proveniente da cogeração. A indústria conta com um quadro funcional de colaboradores, organizados em três turnos operacionais, além do turno administrativo. Sua estrutura organizacional é composta por diversos setores-chave, tais como: recepção e extração, geração de vapor e energia, produção de açúcar e etanol, manutenção elétrica e instrumentação, manutenção mecânica/civil e caldeiraria, planejamento e controle da manutenção, confiabilidade e logística industrial. O setor selecionado como objeto de estudo nesta pesquisa foi o de tratamento de caldo, com ênfase na etapa de filtração, realizada por meio do equipamento filtro prensa.

3.4. Instrumento de coleta de dados

O instrumento de coleta de dados utilizado foi um questionário semiestruturado, adaptado à realidade da indústria e disponibilizado no Apêndice A, elaborado a partir de uma adaptação do modelo proposto por Teixeira (2021), originalmente aplicado ao gerenciamento de resíduos sólidos em um supermercado de Goiânia. Esse instrumento permitiu a obtenção de informações e percepções do entrevistado, que possui experiência e conhecimento específicos, contribuindo para uma análise aprofundada dos dados. A adaptação do questionário teve como objetivo aprofundar os aspectos identificados durante a pesquisa e viabilizar o alcance dos objetivos propostos.

A entrevista e a visita para acompanhamento do processo ocorreram no mês de agosto de 2025. As questões foram elaboradas para obter informações detalhadas sobre o funcionamento do processo investigado. A entrevista foi transcrita mediante consentimento do participante e posteriormente analisada. Para contextualizar os dados obtidos, o Quadro 3.1

apresenta as características do entrevistado, considerando o cargo ocupado, o tempo de experiência na usina e o nível de conhecimento técnico.

Quadro 3.1 — Características do entrevistado

Cargo	Perfil	Relevância para a pesquisa
Especialista de Produção – Fábrica de Açúcar	Formado em Engenharia de Produção, com 26 anos de experiência na produção de açúcar	Possui conhecimento aprofundado do processo produtivo, participa da gestão do setor e contribui diretamente nas melhorias e operações.

Fonte: elaborado pela autora (2025).

3.5. Análise dos dados

A análise dos dados teve como objetivo compreender e interpretar as informações obtidas por meio das entrevistas realizadas com o participante, bem como do acompanhamento do processo. Após a aplicação do questionário, realização das visitas técnicas e transcrição das entrevistas, foi conduzida uma análise qualitativa aprofundada. Essa abordagem possibilitou comparar informações, identificar discrepâncias e codificar os fatores emergentes das transcrições, facilitando o tratamento e a interpretação dos dados coletados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta uma análise detalhada dos dados obtidos por meio da pesquisa empírica, fundamentada nas respostas coletadas a partir do questionário disponibilizado no Apêndice A. Os resultados são interpretados à luz dos objetivos estabelecidos e do referencial teórico revisado, utilizando-se a técnica de análise de conteúdo para aprofundar a compreensão dos fenômenos investigados. Além disso, são discutidas as implicações dos achados, relacionando-os às causas apontadas na literatura e às conclusões de estudos recentes e relevantes na área, de modo a proporcionar uma interpretação crítica e contextualizada dos resultados obtidos.

4.1. Apresentação do processo de produção da torta de filtro

O setor de tratamento de caldo é essencial para a produção de açúcar e etanol, uma vez que realiza a preparação e adequação do caldo de cana-de-açúcar, garantindo que este atenda aos parâmetros de qualidade exigidos nas etapas subsequentes do processo industrial. Nesse contexto, destaca-se a função do filtro prensa, equipamento responsável pela recuperação do caldo açucarado retido no lodo oriundo da decantação (Figura 4.1). Essa etapa contribui diretamente para a redução das perdas de sacarose e para o aproveitamento mais eficiente da matéria-prima, resultando em maior eficiência do processo de produção. O resíduo sólido gerado, denominado torta de filtro, além de representar uma etapa estratégica na mitigação de perdas industriais, pode ser destinado ao uso agrícola como fertilizante, agregando valor ao subproduto e promovendo práticas sustentáveis na cadeia sucroenergética. Diante de sua relevância no contexto da eficiência industrial e do reaproveitamento de resíduos, a torta de filtro foi selecionada como objeto de estudo desta pesquisa.



Figura 4.1 – Lodo proveniente do decantador
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

O processo industrial da usina sucroenergética (Figura 4.2) inicia-se na recepção da matéria-prima (Etapa 1), quando a cana-de-açúcar é descarregada dos caminhões em esteiras metálicas. Em seguida, ocorre o preparo e a extração (Etapa 2), etapas que marcam o início da cadeia produtiva destinada à obtenção de açúcar, etanol e subprodutos de valor agregado, como a torta de filtro e a vinhaça. Após a extração do caldo, o bagaço é encaminhado ao setor de geração de vapor (Etapa 3), onde alimenta as caldeiras. Nesse processo, a combustão do bagaço gera vapor, empregado no suprimento das demandas energéticas de toda a planta industrial.

O caldo extraído na Etapa 2 é armazenado no tanque de caldo primário (Etapa 4), sendo inicialmente direcionado aos regeneradores (Etapa 5), onde sua temperatura é elevada. Esse aquecimento inicial estabelece condições adequadas para as etapas subsequentes do processo. Em seguida, o caldo é submetido à sulfitação (Etapa 6), etapa em que se adiciona enxofre com o propósito de auxiliar na clarificação. Essa fase tem como objetivo remover impurezas sólidas e em suspensão, como terra, fibras, proteínas, sais minerais, corantes e outros componentes presentes no caldo de cana-de-açúcar, de modo a torná-lo mais limpo e apropriado para as etapas posteriores de concentração e cristalização do açúcar.

Em seguida, o fluido é direcionado aos aquecedores (Etapa 7), com o objetivo de atingir a temperatura ideal para a decantação (entre 105 e 110 °C), processo de separação entre as fases sólida e líquida, fundamentado na diferença de densidade entre os componentes. É importante destacar que, antes de adentrar o decantador (Etapa 9), o caldo passa pelo balão flash (Etapa 8), equipamento responsável por regular sua velocidade de entrada e, consequentemente, aumentar a eficiência do processo. Nessa etapa, ocorre também a adição de polímero, que atua como agente floculante, promovendo a aglomeração das partículas em suspensão.

No decantador, ocorre a separação entre o caldo clarificado e o lodo. O caldo clarificado é encaminhado para as peneiras (Etapa 10), onde são removidas impurezas residuais, enquanto o lodo, observado na Figura 4.1., é direcionado ao filtro prensa (Etapa 15) (Figura 4.3), equipamento no qual é submetido à prensagem a vácuo. Nessa etapa, o caldo remanescente é extraído e reinserido no fluxo de produção. O resíduo sólido resultante, com teor de umidade reduzido, constitui a torta de filtro (subproduto da Etapa 15), que é posteriormente reaproveitada como fertilizante nas lavouras de cana-de-açúcar.

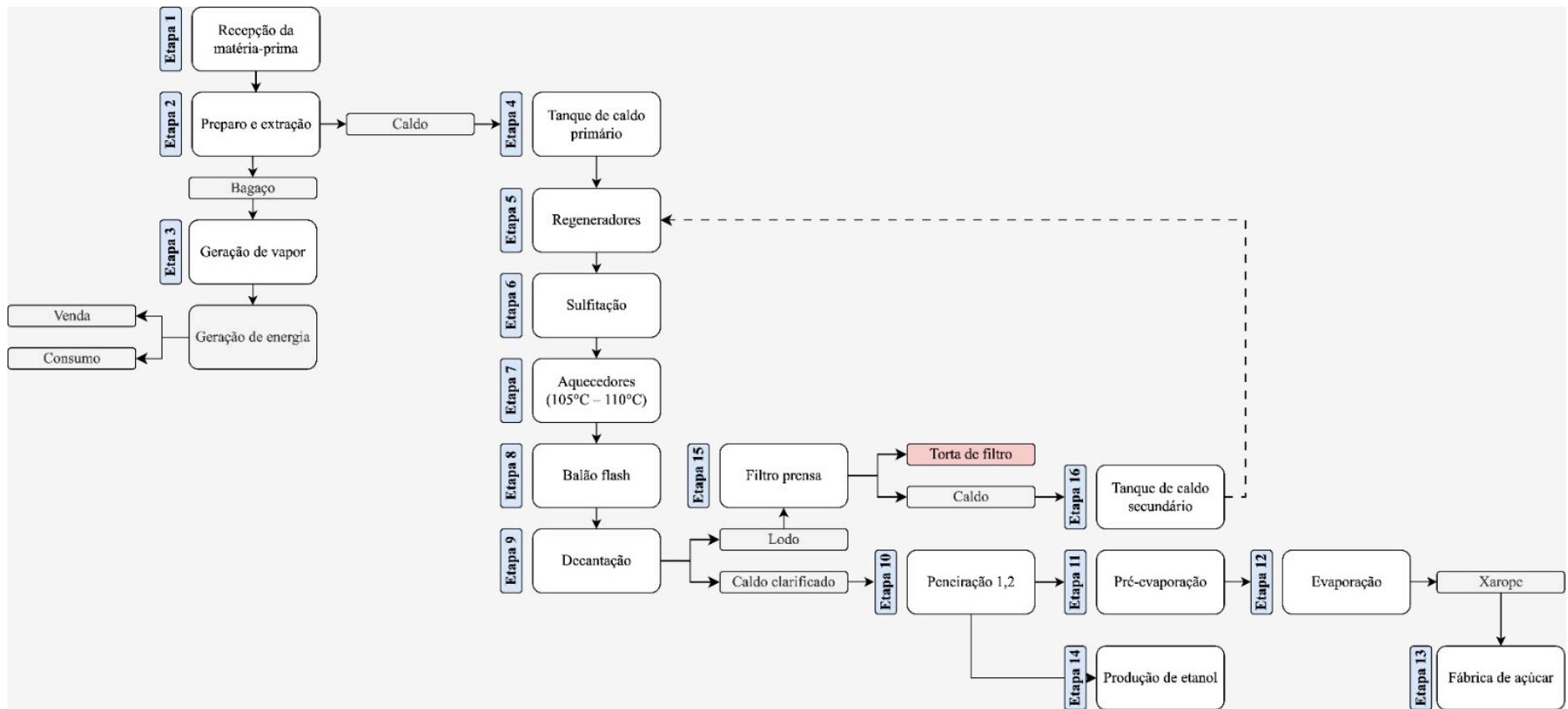


Figura 4.2 – Fluxograma do setor sucroalcooleiro da usina analisada

Fonte: Elaborado pela autora (2025).



Figura 4.3 – Vista superior do filtro prensa
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Essa sequência de operações é fundamental para garantir a qualidade do caldo clarificado e a eficiência do processo de fabricação do açúcar. Parâmetros como controle de temperatura, velocidade de fluxo, adição de agentes clarificantes e dosagem adequada de polímeros influenciam diretamente a redução de impurezas, o aumento do rendimento industrial e a estabilidade do processo. Ademais, a correta separação e o adequado aproveitamento do lodo contribuem para a valorização de subprodutos e fortalecem os princípios de sustentabilidade no setor sucroenergético.

Após a separação entre o caldo e o lodo no decantador (Etapa 9), o caldo clarificado é conduzido às peneiras (Etapa 10), com o objetivo de remover eventuais impurezas remanescentes. A partir desse ponto, o fluxo do caldo se divide: uma parcela é direcionada às etapas de pré-evaporação e evaporação (Etapas 11 e 12, respectivamente), nas quais ocorre a concentração necessária para a subsequente cristalização do açúcar (Etapa 13), enquanto a outra parcela segue para o setor de fermentação e, posteriormente, à destilaria, onde ocorre a produção de etanol (Etapa 14).

Considerando que a Etapa 15 constitui o foco principal deste estudo, a torta de filtro, obtida no filtro prensa, é destacada na análise do processo industrial sucroalcooleiro. O filtro prensa é responsável pela separação sólido-líquido, permitindo a recuperação do caldo açucarado retido no lodo proveniente do decantador. O equipamento opera sob prensagem a vácuo, promovendo a drenagem do líquido através de elementos filtrantes, enquanto os sólidos permanecem retidos, formando a torta de filtro, observada na Figura 4.4. A eficiência dessa operação depende de diversos fatores, como a integridade das telas filtrantes, a pressão aplicada, a velocidade de fechamento e abertura das placas e as características do lodo alimentado. Dessa forma, a torta de filtro não apenas reflete o aproveitamento máximo do caldo clarificado, mas também constitui um indicador crítico do desempenho do processo, impactando diretamente a qualidade do açúcar produzido e a valorização sustentável dos subprodutos (Oliveira; Cavichioli, 2025).



Figura 4.4 – Formação da torta após a prensagem
Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Durante a safra 2024/2025, com duração de 279 dias, a indústria analisada processou um total de 3.527.038 toneladas de cana-de-açúcar. Dessa moagem, foram geradas 117.979,42 toneladas de torta de filtro, o que representa uma média de 33,54 kg de torta por tonelada de cana processada. Esse resultado encontra-se dentro do intervalo normalmente observado em usinas sucroenergéticas brasileiras (Bruno et al., 2021). Em relação ao bagaço, subproduto da extração do caldo, o volume total obtido foi de 1.010.851 toneladas. Desse montante, 995.913 toneladas foram destinadas à geração de vapor, enquanto 75.139 toneladas constituíram excedentes, provenientes tanto da safra em análise quanto do saldo acumulado da safra anterior. Esses excedentes foram armazenados no monte de bagaço, estrutura destinada a estocar o material não consumido no processo produtivo, em virtude da elevada eficiência industrial, que dispensou a utilização integral do bagaço disponível. Na produção de etanol, a usina produziu 221.223.821,00 litros do biocombustível. Como resultado desse processo, foram gerados 828.802 m³ de vinhaça, um resíduo líquido resultante da etapa de destilação do vinho, comumente utilizado na fertirrigação.

4.2. Categorias analisadas

As próximas subseções descrevem uma análise das categorias analisadas por meio da entrevista. Foram consideradas cinco categorias: (1) Geração e controle da torta de filtro; (2) Indicadores e eficiência operacional; (3) Impactos no processo produtivo; (4) Melhorias e controle técnico; (5) Coleta, armazenamento e destinação final.

4.2.1. Categoria 1: Geração e controle da torta de filtro

De acordo com o relato do entrevistado, a torta de filtro é gerada após a etapa de decantação do caldo, quando o lodo resultante é encaminhado ao filtro prensa. Nesse processo, realiza-se a separação do caldo residual por meio de filtragem, originando a torta de filtro. Esse subproduto apresenta **relevância no contexto industrial**, tanto por sua utilidade como indicador de possíveis ineficiências operacionais, quanto por sua relação direta com a redução das perdas de açúcares ao longo da cadeia produtiva. Em termos práticos, quanto maior o teor de açúcares retidos na torta, maior a evidência de que o sistema está operando abaixo das condições ideais.

A elevada umidade da torta, por exemplo, pode indicar maior retenção de caldo e, consequentemente, maior perda de açúcares. De forma análoga, aumentos abruptos na geração

de torta por tonelada de cana moída, bem como a presença de elevados teores de sólidos solúveis podem sinalizar falhas na dosagem de polímeros, desequilíbrios químicos durante o processo de clarificação ou limitações no desempenho mecânico do filtro prensa. A quantificação periódica desses parâmetros constitui, portanto, uma ferramenta estratégica para a estimativa das perdas associadas e para o monitoramento contínuo da eficiência operacional da unidade industrial.

Conforme relatado ao longo da entrevista, no início de cada safra, são **estabelecidas metas operacionais** que norteiam o plano de produção e determinam a quantidade ideal de torta de filtro a ser gerada por tonelada de cana-de-açúcar processada. Essa estimativa baseia-se na análise de múltiplas variáveis monitoradas pelo setor agrícola. De acordo com Guedes Ramos et al. (2016), a ausência de ajustes adequados nas regulagens das colhedoras, associada a condições desfavoráveis do canavial, pode intensificar as perdas e elevar os índices de impurezas presentes na matéria-prima colhida. Patane e Whiteing (2014) complementam que a qualidade da cana-de-açúcar está intrinsecamente relacionada às condições de campo enfrentadas pelas colhedoras, sendo a porcentagem de impurezas vegetais influenciada por fatores como porte da planta, teor de umidade, facilidade de despalha da variedade e espaçamento entre fileiras. Adicionalmente, canaviais acamados ou entrelaçados dificultam o recolhimento eficiente da biomassa e comprometem o desempenho do sistema de limpeza da colheita.

Segundo o entrevistado, o setor responsável pelo tratamento do caldo realiza o **controle quantitativo diário da torta de filtro** produzida. Todos os caminhões destinados ao transporte desse subproduto passam por um sistema de pesagem, cujos dados são registrados e consolidados em boletins diários que reúnem os principais indicadores da produção industrial. Com o objetivo de **padronizar os procedimentos operacionais** relacionados ao filtro prensa, foram elaborados documentos específicos que descrevem detalhadamente todas as etapas do processo. Os operadores são devidamente treinados com base nesses protocolos, assegurando a execução adequada das atividades no contexto das rotinas operacionais.

4.2.2. Categoria 2: Indicadores e eficiência operacional

Segundo o entrevistado, a **eficiência do processo de filtração** é monitorada por meio da análise da composição da torta de filtro, considerando **indicadores** como polarização (Pol), umidade e Açúcares Totais Recuperáveis (ATR). De acordo com Silva (2012), a Pol corresponde ao teor de sacarose presente na cana-de-açúcar, sendo um indicador fundamental

para a indústria sucroenergética. Quanto maior o teor de sacarose, melhor é considerada a qualidade da matéria-prima, visto que esse dissacarídeo, resultante da combinação de glicose e frutose, constitui o principal composto extraído durante a moagem.

Conforme relatado pelo entrevistado, o ATR representa a soma total dos açúcares fermentescíveis da cana (sacarose, frutose e glicose), configurando-se como parâmetro para mensurar o potencial de recuperação de produtos finais, como açúcar e etanol. Parte desse teor, contudo, **pode ser perdida na torta de filtro**, sobretudo quando o processo de filtração apresenta ineficiências, como falhas na formação da camada filtrante, dosagem inadequada de adjuvantes (terra, polímeros ou cal), variações de pressão e temperatura, ou desgaste dos equipamentos utilizados na clarificação. Assim, a análise sistemática desses parâmetros é indispensável para identificar perdas associadas e orientar melhorias no processo de filtração.

A definição das **características ideais da torta de filtro do ponto de vista operacional** ocorre no início da safra por meio de análises laboratoriais e monitoramento de parâmetros de processo. De acordo com o entrevistado, a qualidade da torta é assegurada quando apresenta Pol inferior a 1,2%, o que indica baixas perdas de sacarose junto ao resíduo, além de teor de umidade na faixa de 64% a 70%, considerada adequada para garantir a eficiência da filtração e, ao mesmo tempo, viabilizar sua aplicação como insumo agrícola. Complementarmente, o ART observado é de 0,41%, valor que expressa perdas reduzidas de açúcares recuperáveis, evidenciando um desempenho satisfatório do processo de filtração. Essas características podem variar de acordo com o clima da região, o solo, tempo de transporte até a unidade de moagem e diversos aspectos que contribuem para diferentes parâmetros (Camargo et al., 2021).

Durante a safra analisada, observou-se que o teor de Pol da torta permaneceu acima do limite estabelecido pela usina ($>1,2\%$), conforme apresentado na Figura 4.5. Esse desvio indica perdas de sacarose no subproduto, comprometendo tanto a eficiência de recuperação do processo quanto o balanço de massa e energia da unidade industrial. Tais perdas podem estar relacionadas a fatores operacionais, como a regulagem inadequada e a manutenção deficiente do filtro, variações na dosagem de agentes clarificantes e falhas nas etapas de decantação. Esses aspectos são amplamente descritos na literatura como responsáveis por maior retenção de açúcar na torta. Além disso, quando a torta apresenta teores de Pol superiores aos valores de referência, há impacto direto no rendimento de açúcar e na eficiência econômica da safra. Essa situação evidencia a necessidade de revisão das práticas de controle de processo, de intensificação do monitoramento laboratorial e da adoção de ações corretivas voltadas tanto à operação dos equipamentos quanto à formulação das receitas de tratamento do caldo.

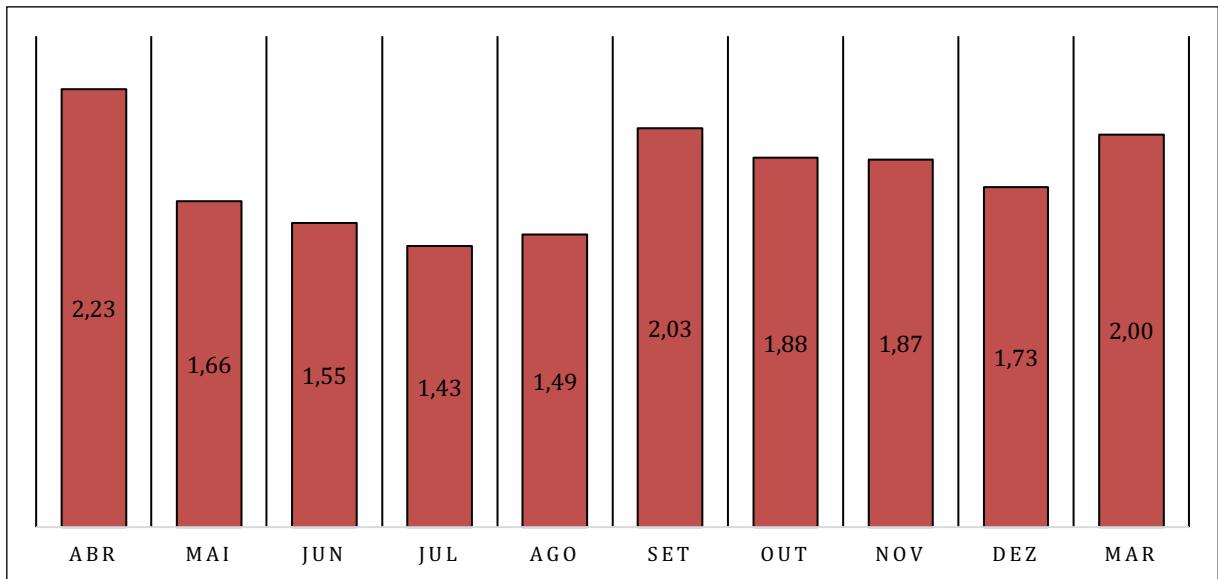


Figura 4.5 – Valores da Pol da torta na safra 2024/2025

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Além disso, é importante destacar que **tortas com elevado teor de umidade** podem comprometer a confiabilidade do indicador de quilos de torta por tonelada de cana processada (kg torta/tc), gerando uma percepção equivocada de aumento na geração do subproduto. O excesso de umidade também impacta negativamente o valor de ATR, uma vez que reduz a eficiência na extração do caldo e contribui para perdas de sacarose ao longo do processo produtivo.

Conforme apresentado na Figura 4.6, a umidade da torta de filtro manteve-se dentro dos parâmetros estabelecidos para o processo industrial, variando entre 64% e 70%. Esse intervalo é considerado ideal, pois garante uma consistência adequada que contribui para a eficiência da etapa de filtração e para o aproveitamento subsequente do subproduto. A manutenção da umidade dentro desses limites indica que o sistema de prensagem do filtro prensa está operando de forma satisfatória, assegurando a recuperação do caldo retido e a formação de uma torta com propriedades físicas adequadas para o reaproveitamento agrícola, seja como condicionador de solo ou como fertilizante orgânico.

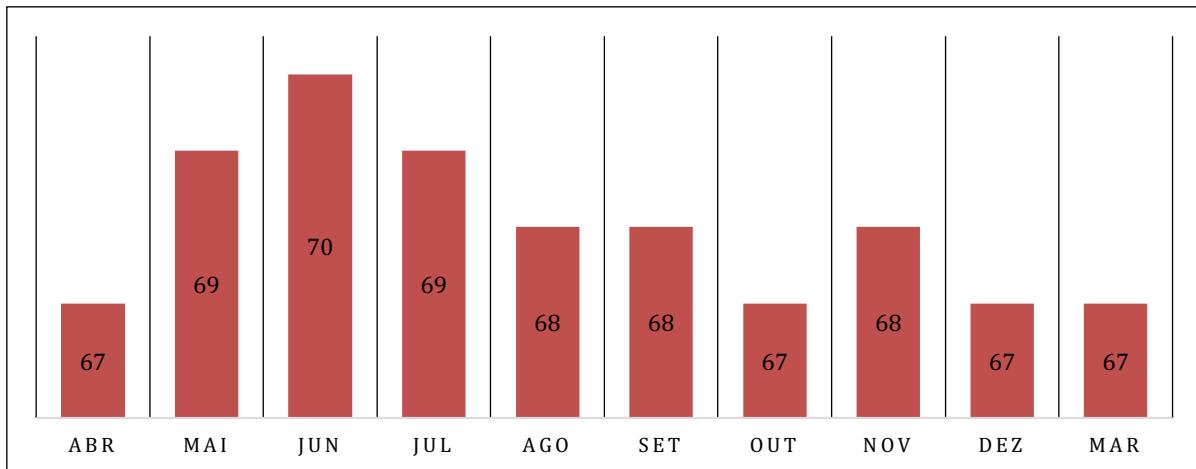


Figura 4.6 – Valores da umidade da torta na safra 2024/2025

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

É importante destacar que a análise da torta de filtro revelou diferentes **problemas de ineficiência industrial**. Entre os principais, destacam-se vazamentos na tubulação de vácuo, raspas com angulação incorreta e telas danificadas nos filtros, fatores que comprometem a eficiência da filtração e elevam o teor de umidade e de impurezas na torta. Para solucionar essas ocorrências, são realizadas inspeções nos filtros de vácuo, substituição das telas danificadas, correção do posicionamento das raspas e implementação de rotinas de manutenção preventiva, incluindo a lavagem periódica das flautas.

Além disso, constatou-se que, em situações em que o decantador opera com níveis de sólidos acima do ideal (superiores a 58%), ocorre aumento do volume de lodo direcionado ao filtro, elevando o teor de Pol na torta. Embora essa condição reduza temporariamente a eficiência do filtro, a medida é adotada para evitar a ruptura do pino de segurança do equipamento, o que demandaria uma parada não programada do processo. Dessa forma, a análise da torta de filtro mostrou-se uma ferramenta eficaz para monitoramento do desempenho industrial e identificação precoce de falhas operacionais e mecânicas.

O desempenho de filtros contínuos de tambor rotativo a vácuo na indústria sucroalcooleira está diretamente conexo às características e condições dos meios filtrantes utilizados. Estes componentes influenciam significativamente a formação e a desidratação da torta de filtro, impactando tanto o teor de umidade quanto a retenção de impurezas e açúcares. A pesquisa desses autores demonstrou que variações na integridade das telas (Figura 4.7), no ajuste das raspas e na estabilidade do vácuo podem comprometer a eficiência do processo de filtração. Assim, o controle das condições operacionais e a manutenção periódica dos filtros de vácuo são essenciais para assegurar a qualidade da torta e reduzir perdas industriais associadas à etapa de clarificação do caldo (Oliveira; Cavichioli, 2025).



Figura 4.7 – Telas filtrantes utilizadas na retenção de sólidos do caldo
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.2.3. Categoria 3: Impactos no processo produtivo

A operação dos filtros é considerada um **potencial gargalo no processo industrial**. Segundo o entrevistado, a paralisação dos filtros por falhas operacionais ou necessidade de manutenção compromete diretamente a continuidade da moagem. Em situações em que o número de filtros operantes é reduzido, torna-se necessário diminuir a taxa de processamento da cana-de-açúcar, afetando o aproveitamento da matéria-prima e reduzindo a produção final. Problemas nos filtros já resultaram em **interrupções ou queda no ritmo produtivo**, impactando negativamente a eficiência do processo e a recuperação de açúcares.

Adicionalmente, períodos em que o caldo apresenta **maior concentração de impurezas** afetam diretamente a performance industrial, especialmente nas etapas de tratamento e filtração. Nesses casos, observa-se aumento na geração de torta de filtro, comprometendo a eficiência do processo. Esse efeito está relacionado, entre outros fatores, à presença de ceras epicuticulares e de polímeros naturais da cana, como amido, pectinas e gomas. Esses compostos, ao se incorporarem ao caldo durante a moagem, aumentam sua viscosidade, favorecem a retenção de sacarose e dificultam tanto a clarificação quanto a separação das impurezas. Como consequência, intensifica-se a formação da torta e elevam-se as perdas de açúcares recuperáveis, reduzindo o rendimento global da usina e demandando maior controle

operacional, bem como a utilização de auxiliares de processo, como polímeros floculantes, para garantir a estabilidade industrial (Serapião et al., 2025).

4.2.4. Categoria 4: Melhorias e controle técnico

De acordo com o entrevistado, diversas **ações corretivas e de melhoria** já foram implementadas com o objetivo de otimizar a separação sólido-líquido e minimizar a geração excessiva de torta de filtro. Dentre essas ações, destacam-se a realização de testes com diferentes tipos de polímeros e os ajustes no pH do lodo, com foco na melhoria do processo de floculação. Nessa fase, formam-se flocos que aglomeram os sólidos em suspensão, permitindo sua sedimentação em velocidade adequada. Caso a floculação não seja eficiente, a separação dos componentes não açucarados se torna limitada, pois, segundo a Lei de Stokes, a diferença de densidade entre as partículas e o meio não é suficiente para garantir a decantação de forma efetiva (Albuquerque, 2016).

Conforme relatado, há um **monitoramento laboratorial** sistemático e diário realizado pelo setor de controle da qualidade. Esse acompanhamento tem como finalidade fornecer subsídios para o controle operacional do processo de filtração. Os principais parâmetros avaliados incluem: Pol da torta (indicador da perda de açúcares), pH do lodo, brix do filtrado, teor de sólidos no caldo filtrado e a umidade da torta. Esses parâmetros são usados para avaliar a eficiência da clarificação e da filtração na produção de açúcar. Conforme destacado anteriormente, o Pol da torta expõe o quanto de açúcar ainda ficou preso na torta de filtro, indicando perdas no processo. O pH do lodo mede se o lodo está mais ácido ou básico, o que influencia a formação dos flocos na clarificação. O Brix do filtrado indica a quantidade de sólidos solúveis, principalmente açúcares, presentes no caldo já filtrado. O teor de sólidos no caldo filtrado mostra se ainda restam partículas em suspensão que não foram totalmente removidas. Finalmente, a umidade da torta revela quanta água ficou retida no resíduo sólido, o que impacta tanto no reaproveitamento do caldo quanto no destino e na qualidade desse subproduto (Leão et al., 2023).

Para manter o **desempenho ideal na geração e no controle da torta**, a equipe industrial adota boas práticas, entre as quais se destacam a limpeza periódica das flautas de lavagem das telas filtrantes, a manutenção da concentração do lodo em aproximadamente 35% no mesclador e o controle rigoroso da temperatura do Brix do condensado. Essas medidas operacionais são fundamentais para assegurar a estabilidade do processo, a qualidade do produto final e a minimização de perdas durante a etapa de filtração.

Na figura 4.8, observam-se as flautas de lavagem, que desempenham uma função essencial no processo de filtração do caldo, pois são responsáveis por aplicar jatos de água que promovem a limpeza contínua das telas filtrantes e auxiliam na remoção da camada de torta acumulada durante a operação. Quando essas flautas não recebem limpeza adequada, ocorre o entupimento dos bicos ou a redução do fluxo de água, comprometendo a eficiência da lavagem e ocasionando aumento da resistência à filtração, perda de capacidade do filtro prensa e maior retenção de caldo na torta. Além disso, a falta de manutenção pode levar a falhas operacionais, variações na qualidade do filtrado e incremento de perdas industriais. Portanto, realizar limpezas periódicas nas flautas é fundamental para garantir seu funcionamento pleno, manter a eficiência do processo e assegurar maior estabilidade operacional ao setor de tratamento de caldo.



Figura 4.8 – Flautas de lavagem de tela
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.2.5. Categoria 5: Coleta, armazenamento e destinação final

De acordo com o entrevistado, a **coleta e o transporte da torta de filtro** no setor são realizados por uma equipe terceirizada contratada pela empresa, responsável por garantir o transporte e a destinação adequada do resíduo. Quanto ao procedimento de **coleta e armazenamento temporário dos resíduos industriais**, foi relatado que os caminhões da empresa terceirizada realizam a coleta de forma contínua, de modo a não interferir no fluxo do processo produtivo. Após a coleta, a **torta é transportada para o pátio de compostagem** localizado no setor agrícola da empresa, onde passa por tratamento para posterior utilização como fertilizante nas lavouras de cana-de-açúcar próprias da companhia.

Segundo Rocha (2014), essa atividade é similar em diversas indústrias que resultam na torta, pois melhora o desenvolvimento da cultura com menor custo. Além de várias vantagens

e benefícios, a principal é retornar ao solo todos os nutrientes que a planta extraiu. A compostagem é um processo de decomposição desenvolvido por microrganismos aeróbicos, onde ocorrem reações bioquímicas. Ao final da compostagem, é produzido um material estável, benéfico para os solos e para o crescimento vegetal.

A Figura 4.9 ilustra o momento em que a torta de filtro é despejada no caminhão, imediatamente após passar pelo filtro prensa, evidenciando a etapa inicial do transporte para o pátio de compostagem.



Figura 4.9 – Torta de filtro sendo depositada no caminhão após passagem pelo filtro prensa
Fonte: elaborada pela autora (2025).

No que se refere ao acompanhamento e ao conhecimento sobre a **proporção da torta reaproveitada ou descartada**, o entrevistado informou que o setor de tratamento de caldo não realiza esse monitoramento, visto que a responsabilidade pelo manuseio e reaproveitamento da torta é atribuída ao setor agrícola, que atua de forma independente das operações industriais. Em relação aos **possíveis impactos ambientais** decorrentes do descarte ou manejo inadequado da torta de filtro, o entrevistado destacou que tais práticas podem ocasionar efeitos negativos significativos, como a geração de mau odor devido à decomposição da matéria orgânica, o acúmulo de insetos e a liberação de gases prejudiciais. Além disso, o descarte incorreto da torta pode acarretar riscos ambientais relevantes, incluindo a contaminação do solo por meio da lixiviação de compostos orgânicos e nutrientes em excesso, que podem modificar o pH local e causar eutrofização de corpos d'água. A decomposição da matéria orgânica também pode

favorecer a proliferação de vetores e a emissão de odores desagradáveis, além da liberação de gases de efeito estufa, como o metano. Contudo, é importante ressaltar que, quando manejada adequadamente, a torta possui valor agronômico importante, sendo uma fonte de nutrientes essenciais, como o fósforo, que podem ser aproveitados para fertilização eficiente das lavouras (Gonçalves J.C. et al., 2018). O Quadro 4.1 expõe uma síntese da análise de conteúdo das cinco categorias analisadas ao longo da entrevista.

Quadro 4.1 – Síntese dos resultados por categoria de análise

Categoria	Tópico-chave	Explicação
Geração e controle da torta de filtro	Relevância e etapa de geração	A torta de filtro é produzida após a decantação do caldo no filtro prensa, constituindo um subproduto relevante que serve como indicador de ineficiências operacionais e contribui para a minimização das perdas de açúcares.
	Faixa ideal de geração	As metas operacionais, definidas no início de cada safra, determinam a quantidade ideal de torta por tonelada de cana-de-açúcar processada. Variações abruptas podem indicar falhas na dosagem de polímeros ou limitações mecânicas do filtro prensa.
	Controle quantitativo e frequência	O monitoramento é realizado diariamente pelo setor de tratamento de caldo, por meio de pesagem sistemática de todos os caminhões, com registro e consolidação dos dados em boletins operacionais, assegurando acompanhamento contínuo.
	Padronização operacional	Os procedimentos operacionais são formalizados em documentos específicos, detalhando todas as etapas do processo, e os operadores recebem treinamento estruturado, garantindo uniformidade e eficiência na operação do filtro prensa.
Indicadores e eficiência operacional	Acompanhamento da filtração	A eficiência é monitorada pela composição da torta, considerando Pol, Umidade, ATR, pH do lodo, Brix e teor de sólidos.
	Principais indicadores	Os indicadores centrais são Pol, Umidade e ATR, refletindo perdas de açúcares e eficiência do processo.
	Torta como indicador de perdas	Elevado teor de açúcares ou umidade indica operação abaixo do ideal e perdas no processo.
	Característica ideal	Pol<1,2%, Umidade 64–70%, ATR 0,41%, garantindo eficiência e mínima perda de açúcares.
	Impacto da torta úmida/excessiva	Torta úmida ou excessiva indica retenção de caldo, perda de açúcares e possível falha na dosagem de polímeros ou limitações do filtro.
	Detecção e resolução de ineficiência	Problemas identificados: vazamentos, telas danificadas, raspas mal posicionadas. Soluções: inspeções, substituição de telas, correção de raspas e manutenção preventiva.
Impactos no processo produtivo	Filtros como potencial gargalo e mitigação	A operação dos filtros constitui um potencial gargalo, pois falhas ou paralisações comprometem a continuidade da moagem. Redução do número de filtros operantes demanda diminuição da taxa de processamento da cana, impactando a recuperação de açúcares e o aproveitamento da matéria-prima. Medidas mitigatórias incluem inspeções, substituição de telas, correção de raspas, rotinas de manutenção preventiva e aumento temporário do volume de lodo para evitar paradas não programadas.
	Manuseio/descarte e interferência na produção	Problemas no manuseio ou descarte externo da torta não foram relatados como causa de interrupções. As paradas observadas estão associadas a falhas operacionais e mecânicas dos filtros.

Categoria	Tópico-chave	Explicação
Melhorias e controle técnico	Impacto de impurezas na performance industrial	A presença de impurezas elevadas no caldo compromete a performance da filtração, aumentando a geração de torta, elevando a viscosidade do caldo (devido a amido, pectinas, gomas e ceras) e reduzindo a eficiência na recuperação de açúcares, impactando negativamente o rendimento global da usina.
	Otimização da separação e redução da geração	Implementaram-se testes com diferentes polímeros e ajustes de pH para aprimorar a floculação e reduzir a geração excessiva de torta.
	Acompanhamento laboratorial	O monitoramento diário do processo inclui análises de Pol da torta, pH do lodo, Brix do filtrado, teor de sólidos e umidade da torta.
	Boas práticas operacionais	Destacam-se a limpeza periódica das flautas de lavagem, a manutenção da concentração do lodo (~35%) e o controle do Brix do condensado.
Coleta, armazenamento e destinação final	Responsável pela coleta e transporte	A coleta e o transporte da torta de filtro são realizados por equipe terceirizada, contratada para garantir o manejo e a destinação adequada do resíduo.
	Coleta e armazenamento temporário	A coleta contínua evita interrupções no processo produtivo. O material é enviado diretamente ao pátio de compostagem.
	Destino final	A torta é destinada à compostagem no setor agrícola, sendo posteriormente utilizada como fertilizante nas lavouras de cana-de-açúcar.
	Acompanhamento do reaproveitamento	O setor de tratamento de caldo não realiza o monitoramento, que é de responsabilidade exclusiva do setor agrícola.
	Impactos do descarte incorreto	O descarte inadequado pode causar contaminação do solo e da água, proliferação de vetores, emissão de odores e gases (como metano) e alteração do pH do solo.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.3. Oportunidades de melhoria operacional e ambiental

Com base nos dados analisados sobre o desempenho do setor de tratamento de caldo e a geração de torta, identificou-se a necessidade de mapear de forma estruturada os principais fatores que contribuem para as perdas industriais e os impactos operacionais. Nesse contexto, foi conduzida uma análise qualitativa de falhas abrangendo as etapas de (1) clarificação e floculação, (2) filtração e (3) coleta e destinação final da torta (Quadro 4.2).

A primeira etapa analisada foi a clarificação e floculação, responsáveis pela estabilização química do caldo e pela formação de flocos adequados à decantação. A investigação identificou falhas importantes nessa fase, como dosagem inadequada de polímeros, pH fora da faixa ideal e excesso de sólidos no decantador.

Essas falhas aumentam a turbidez residual do caldo e elevam a carga de sólidos encaminhada para a filtração, resultando em tortas mais úmidas e com maior retenção de sacarose. Estudos reforçam que tanto o tipo quanto a dosagem de polímeros, aliados ao controle preciso do pH, são determinantes para reduzir perdas de sacarose e melhorar a eficiência de

desaguagem (Teixeira et al., 2023). Portanto, a etapa de clarificação e floculação condiciona diretamente o desempenho das etapas subsequentes, sendo essencial para evitar sobrecarga na filtração e perdas associadas ao ATR.

A segunda etapa analisada foi a filtração, identificada como a principal fonte de perdas industriais. Os resultados demonstram que tanto o teor de umidade quanto o teor de Pol da torta estão diretamente relacionados a condições inadequadas de operação e manutenção do filtro-prensa. Foram observados modos de falha relevantes, como desgaste das telas filtrantes, obstruções, posicionamento inadequado das raspas, além da presença de impurezas elevadas no caldo (ceras, amido, pectinas e gomas), fatores que ampliam a viscosidade e reduzem a capacidade de drenagem. Tortas com Pol superior a 1,2% e com maior retenção de caldo indicam perdas significativas de açúcares, impactando diretamente o rendimento da usina. A literatura corrobora esses achados, destacando que a integridade das telas, a higiene dos sistemas de lavagem e a manutenção preventiva são fatores determinantes para melhorar a eficiência de filtração e reduzir perdas de sacarose (Stickland et al., 2016).

A terceira etapa analisada foi a coleta e destinação final da torta, fase que, embora ocorra após o processo produtivo, influencia diretamente a valorização do subproduto e a mitigação de impactos ambientais. A análise destacou que falhas no manejo e na destinação podem resultar em desperdício de nutrientes, perda de açúcares ainda presentes na torta e risco de contaminação do solo e da água.

Estudos recentes ressaltam que a qualidade da torta destinada à agricultura ou a outros usos depende de características como umidade controlada, composição estável e ausência de variações excessivas, condições diretamente influenciadas pelas etapas anteriores (Soares et al., 2024). Assim, a integração entre os setores industrial e agrícola é necessária para garantir o uso adequado da torta como condicionador de solo, promovendo economia circular e reduzindo passivos ambientais.

Essa avaliação permite identificar preventivamente os modos de falha potenciais, seus efeitos sobre o processo e as causas fundamentais, possibilitando a proposição de ações para aumentar a eficiência industrial e reduzir perdas, especialmente aquelas relacionadas ao ATR e ao teor de Pol retido na torta. A abordagem reforça a tomada de decisão e contribui para maior confiabilidade operacional nas etapas analisadas.

A análise de falhas permitiu identificar modos que afetam diretamente o rendimento industrial e a qualidade do processo, como falhas na dosagem de polímeros, desvios no pH do lodo, aumento da carga de sólidos no decantador, desgaste das telas do filtro-prensa e oscilações operacionais que resultam em maior retenção de açúcares na torta.

As ações recomendadas destacam a importância do controle rigoroso dos parâmetros operacionais, da integração entre as equipes de processo, manutenção e laboratório, e da implementação de estratégias preventivas e corretivas. Nesse sentido, a análise de falhas pode ser considerada uma ferramenta para fortalecer o controle industrial, reduzir desperdícios e garantir estabilidade do processo produtivo, alinhando-se aos princípios de melhoria contínua e às práticas de gestão ambiental adotadas pela usina.

Quadro 4.2 – Análise de falhas no setor de tratamento de caldo e geração de torta

Etapa	Modo potencial de falha	Efeito potencial da falha	Causa potencial da falha	Ações recomendadas
Clarificação e Floculação (sulfitação e aquecimento)	Flocação ineficiente	Aumento do teor de Pol na torta de filtro	Falhas na dosagem de polímero	Realizar testes comparativos de polímeros (<i>jar test</i>) e calibrar os dosadores
	Má separação de líquidos e sólidos	Perda de ATR e redução do rendimento industrial	pH do lodo fora da faixa ideal, provocando desequilíbrios químicos	Revisar as receitas químicas e implementar controle automático de pH
	Operação com excesso de sólidos no decantador	Aumento do volume de lodo encaminhado ao filtro	Deficiência no controle de sólidos ou má distribuição do fluxo	Monitorar as condições de decantação e ajustar a alimentação do equipamento
Filtração (filtro prensa)	Filtração com baixa eficiência	Torta com Pol superior ao limite desejado (>1,2%)	Danos ou desgaste das telas filtrantes	Realizar manutenção preventiva periódica e substituir telas danificadas
	Torta úmida ou com excesso de retenção de caldo	Maior perda de açúcares e aumento do volume de torta	Raspas posicionadas incorretamente ou obstruções nas telas	Ajustar as raspas e realizar limpeza rotineira das flautas de lavagem
	Paralisação dos filtros	Gargalo produtivo e impacto no rendimento global da usina	Caldo com impurezas elevadas (ceras, amido, pectinas e gomas) que aumentam a viscosidade	Reforçar o controle operacional na clarificação e ampliar a frequência das análises laboratoriais
Coleta e destinação final	Manejo ou destinação inadequada da torta	Contaminação ambiental do solo e da água, além de desperdício de nutrientes	Descarte incorreto e falta de integração entre os setores industrial e agrícola	Estabelecer controle integrado para a destinação da torta entre os setores industrial e agrícola

Fonte: elaborada pela autora (2025).

No que se refere ao manejo e à destinação da torta, destaca-se que a valorização desse resíduo, seja para uso agrícola, co-combustão ou produção de bioproductos, depende da estabilidade das características físicas, como umidade controlada e baixa variabilidade da composição. A destinação inadequada ou a aplicação de torta com alto teor de caldo resulta em desperdício de açúcares recuperáveis e potenciais impactos ambientais (Soares et al., 2024).

Nesse contexto, a aplicação dos princípios de produção mais limpa (P+L), por exemplo, representa uma oportunidade estratégica para aliar eficiência produtiva e sustentabilidade ambiental. A metodologia da P+L propõe a revisão contínua dos processos industriais com foco em reduzir perdas na fonte, otimizar o reaproveitamento interno e valorizar subprodutos (CNTL, 2023). No Quadro 4.3, é possível observar as ações e benefícios da aplicação da P+L ao processo de filtração.

Quadro 4.3 – Aplicação dos princípios da P+L ao processo de filtração.

Nível da P+L	Aplicação na usina	Resultados esperados
Redução na fonte	Ajuste da dosagem de polímero e cal; controle da pressão e tempo de filtração.	Menor perda de sacarose; aumento da eficiência de separação de sólidos.
Reaproveitamento interno	Retorno do filtrado ao processo; reaproveitamento de correntes líquidas.	Recuperação de caldo, redução de efluentes e melhoria da eficiência global do processo.
Valorização externa	Utilização da torta de filtro como condicionador de solo e fonte de nutrientes na lavoura de cana-de-açúcar.	Redução do passivo ambiental, aproveitamento agrícola do resíduo e fortalecimento da economia circular.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

No caso da torta de filtro, a redução na fonte pode ser alcançada pelo controle mais rigoroso das etapas de clarificação e filtração, ajustando variáveis como dosagem de reagentes, tempo de residência e ciclos de operação dos filtros. No reaproveitamento interno, pode ser incluído o retorno do filtrado ao processo produtivo, diminuindo perdas de caldo e contribuindo para o aumento da eficiência global. Essa prática já é realizada pelo setor, onde o caldo restante no lodo, após passar pelo filtro prensa, retorna para o processo. Por fim, a valorização do subproduto ocorre quando a torta de filtro é destinada à aplicação agrícola, atuando como condicionador de solo e fonte de nutrientes para a lavoura de cana-de-açúcar.

Essa abordagem está alinhada aos princípios da economia circular e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao promover o uso racional de recursos, a redução de resíduos e o fortalecimento do desempenho ambiental do setor sucroenergético. Logo, as oportunidades de melhoria apontam para a necessidade de integrar o controle operacional com ferramentas de análise e monitoramento contínuo, adotando práticas de P+L e de manutenção preditiva. Essas ações, além de fortalecerem o desempenho industrial, reduzem impactos ambientais e consolidam a sustentabilidade do processo de filtração.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como propósito analisar a gestão da torta de filtro no processo sucroenergético, desde sua geração até a destinação final, visando identificar oportunidades de melhoria operacional e ambiental. Para isso, foram abordadas as dimensões operacionais, técnicas e ambientais. A pesquisa permitiu compreender como a falta de controle e padronização na geração e no manuseio da torta pode impactar a eficiência produtiva, ocasionando perdas de sacarose e aumento de custos logísticos e ambientais.

Os resultados apontaram que a torta de filtro é um importante indicador de desempenho do processo de filtração, pois suas características físicas e químicas refletem diretamente a eficiência de clarificação e o controle operacional da usina. Verificou-se que fatores como dosagem incorreta de insumos, falhas de manutenção e ausência de monitoramento contínuo elevam o teor de umidade e de Pol retido na torta, indicando perda de matéria-prima e ineficiência na separação sólido-líquido.

Além disso, observou-se que a destinação adequada da torta possui papel estratégico na sustentabilidade do setor. Quando controlada e reaproveitada, a torta de filtro contribui para a redução do uso de fertilizantes químicos e reforça o compromisso ambiental da indústria, em consonância com os princípios da Produção Mais Limpa (P+L) e da economia circular. Deste modo, a pesquisa confirma que a gestão eficiente desse coproduto deve ser tratada de forma integrada, considerando não apenas as variáveis técnicas de processo, mas também os aspectos ambientais e logísticos que envolvem seu ciclo produtivo.

5.1. Implicações teóricas

Sob a perspectiva teórica, o estudo contribui para ampliar a compreensão sobre o papel da torta de filtro como um elemento de análise operacional e ambiental dentro da indústria sucroenergética. A investigação reforça a importância de considerar esse coproduto não apenas como resíduo, mas como um indicador capaz de revelar a eficiência de diferentes etapas do processo, sobretudo clarificação e filtração.

Nesse sentido, o trabalho avança ao integrar conceitos de gestão da produção, controle de processos e sustentabilidade industrial, propondo uma visão sistêmica sobre o gerenciamento de coprodutos. Essa abordagem contribui para o fortalecimento do campo da Engenharia de Produção aplicada aos sistemas agroindustriais, estimulando novas discussões sobre eficiência energética, controle de perdas e valorização de resíduos industriais.

Além disso, os achados deste estudo convergem com a literatura ao indicar que controles automatizados de pH e dosagem de polímero, manutenção preditiva em componentes de filtração e procedimentos integrados para acondicionamento e destinação da torta são intervenções prioritárias para reduzir perdas de ATR/Pol e aumentar a eficiência do processamento. Essas medidas devem ser priorizadas no plano de ação para mitigação das falhas identificadas na análise de falhas.

5.2. Implicações gerenciais

Do ponto de vista gerencial, os resultados deste estudo podem servir como exemplo prático para gestores do setor sucroenergético. Os resultados evidenciaram a necessidade de adoção de práticas de monitoramento contínuo e padronização operacional na etapa de filtração. Assim, pode ser recomendada a implementação de indicadores específicos, como teor de sólidos, Pol retido, compactação e umidade, para apoiar decisões baseadas em dados e permitir intervenções preventivas. A integração entre os setores de produção, manutenção e meio ambiente mostrou-se essencial para o desempenho sustentável da usina. A utilização de metodologias de melhoria contínua, como PDCA, 5S e Kaizen, pode auxiliar na redução de variabilidades e no aumento da eficiência global do processo.

Além disso, o reaproveitamento agrícola da torta deve ser planejado de forma técnica, com controle de umidade e composição, garantindo benefícios econômicos e ambientais. Essas práticas fortalecem a cultura de gestão por indicadores e contribuem para o alinhamento das operações industriais aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente no que se refere ao consumo e produção responsáveis (ODS 12) e à ação contra a mudança global do clima (ODS 13).

5.3. Limitações

Assim como outros estudos, este também apresenta algumas limitações. As principais limitações desta pesquisa estão relacionadas ao recorte amostral e à natureza qualitativa dos dados obtidos. O estudo foi conduzido com base na percepção e nas informações fornecidas por um profissional de um único empreendimento sucroenergético, o que restringe a generalização dos resultados para todo o setor.

Outra limitação refere-se à ausência de medições laboratoriais diretas da composição da torta de filtro, o que poderia complementar os dados qualitativos com análises quantitativas de

umidade, teor de sacarose e sólidos. Apesar dessas restrições, o estudo forneceu uma visão holística sobre as práticas de controle e gestão da torta de filtro, servindo como base para futuras pesquisas de caráter comparativo e experimental.

5.4. Oportunidades para estudos futuros

Como desdobramento deste trabalho, recomenda-se a realização de estudos quantitativos e experimentais que correlacionem diretamente os parâmetros operacionais da torta de filtro com indicadores de eficiência energética e econômica da usina. Pesquisas futuras também podem explorar modelos preditivos e o uso de tecnologias de automação e sensoriamento digital (IoT) para monitoramento em tempo real da etapa de filtração. Estudos de casos com outras empresas do setor podem ser realizados para fins de comparação. Adicionalmente, existem oportunidades para investigar o potencial de reaproveitamento energético da torta de filtro, seja na produção de biogás, compostagem avançada ou em aplicações de biofertilizantes de alto valor agregado. Esses estudos poderão contribuir para consolidar a torta de filtro como um recurso estratégico dentro da lógica da economia circular e da sustentabilidade industrial.

REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2023.** São Paulo: ABRELPE, 2023.

ALBUQUERQUE, F. M. **Processo de fabricação do açúcar.** 4. ed. Capivari, SP: STAB – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2016.

ALVARENGA, K. P.; CORDEIRO, G. C. Evaluating sugarcane bagasse fly ash as a sustainable cement replacement for enhanced performance. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 20, p. 100751, jun. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100751>.

ALVARENGA, R. P.; QUEIROZ, T. R. Produção mais limpa e aspectos ambientais na indústria sucroalcooleira. In: **International Workshop Advances in Cleaner Production.** 2009. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/3/T.%20R.%20Queiroz>. Acesso em: 6 ago. 2025.

ANI, L. S.; BUDOVICH, L.; KLUNKO, N. S.; JUMANAZAROVA, G. U.; NASUROVA, K.; ASATULLAEV, K. Reduction of cost and emissions by using recycling and waste management system. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e279565, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.279565>.

BAHARUM, M. R.; PITI, M. Retail shopping centre recycling initiatives. **Journal of Retail & Leisure Property**, v. 9, n. 3, p. 201–210, ago. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1057/rhp.2010.10>.

BÁNKUTI, S. M. S.; BÁNKUTI, F. I. Gestão ambiental e estratégia empresarial: um estudo em uma empresa de cosméticos no Brasil. **Gestão & Produção**, v. 21, n. 1, p. 171–184, mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2014000100012>.

BRASIL. **Diagnóstico dos resíduos sólidos de logística reversa obrigatória.** Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2012.

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. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 6 ago. 2025.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2017. (Série Legislação, n. 229).

BRUNO, M. H. F.; FREZATO NETO, P.; SORACE, M. A. D. F.; OSIPÍ, E. A. F.; COSSA, C. A. Germinação e desenvolvimento de plântulas de *Lens culinaris* Medik em diferentes substratos e doses de bioestimulante. **Revista Ciência Agrícola**, v. 19, n. 1, p. 1–8, 4 ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.28998/rca.v19i1.9421>.

CAMARGO, J. M. O.; MARCELA GALLEGOS RÍOS, J.; ANTONIO, G. C.; LEITE, J. T. C. Physicochemical properties of sugarcane industry residues aiming at their use in energy

processes. In: KHAN, M. S. (org.). **Sugarcane – Biotechnology for Biofuels**. [S.l.]: IntechOpen, 23 jun. 2021. DOI: 10.5772/intechopen.95936. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/sugarcane-biotechnology-for-biofuels/physicochemical-properties-of-sugarcane-industry-residues-aiming-at-their-use-in-energy-processes>. Acesso em: 1 out. 2025.

COELHO JUNIOR, L. M.; SANTOS JÚNIOR, E. P.; DA SILVA, C. F. F.; DE OLIVEIRA, B. H. C.; DANTAS, J. B. C.; DOS REIS, J. V.; SCHRAMM, V. B.; SCHRAMM, F.; CARVALHO, M. Supply of bioelectricity from sugarcane bagasse in Brazil: a space–time analysis. **Sustainable Environment Research**, v. 34, n. 1, p. 17, 25 jul. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42834-024-00223-z>.

COELHO, L. F.; BRAGAGNOLO, C. Fatores determinantes da eficiência técnica da cana-de-açúcar nos polos de produção do sudeste e centro-oeste brasileiros. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 54, n. 1, p. 167–204, jan. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-53575416lccb>.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília, DF, v. 12, n. 4, abr. 2025.

CONCEIÇÃO, G. R.; SANTOS, J. R. D. J.; SILVA, C. S. D.; CHINALIA, F. A. Microalgae as agents for upcycling industrial wastewater: energy patents and scientific literature overview. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 15, p. e230111537097, 15 nov. 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.37097>

CONCEIÇÃO, G. R.; SANTOS, J. R. D. J.; SILVA, C. S. D.; CHINALIA, F. A. Microalgae as agents for upcycling industrial wastewater: energy patents and scientific literature overview. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 15, p. e230111537097, 15 nov. 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.37097>.

CÓRCOLES, D.; TRIGUERO, Á. The influence of eco-innovation on high-performing firms: The dynamics of productivity in the context of circular economy. **European Research on Management and Business Economics**, v. 31, n. 2, p. 100275, maio 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iedeen.2025.100275>.

DA LUZ, F. B.; GONZAGA, L. C.; CHERUBIN, M. R.; CASTIONI, G. A. F.; CARVALHO, J. L. N. Soil health impact of long-term sugarcane vinasse recycling. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 18, n. 6, p. 2064–2077, nov. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/bbb.2688>.

DA SILVA, J. P. N.; DA SILVA, M. R. N. **Noções da cultura da cana-de-açúcar**. 1. ed. Inhumas, GO: IFG, 2012.

DA SILVA, M. V.; ZANCHI, F. B.; LOPES, E. R. D. N. Cartography of solid waste management in Southern Bahia, Brazil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 28, p. e20220238, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522022238>.

DANTAS, M. K.; PASSADOR, C. S. Programa Município VerdeAzul: uma análise integrada da gestão ambiental no estado de São Paulo. **Organizações & Sociedade**, v. 27, n. 95, p. 820–854, dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-9270958>.

DE OLIVEIRA, E. O.; BANASZESKI, C. L. A logística reversa no descarte de medicamentos. **Saúde e Desenvolvimento**, v. 10, n. 18, p. 21–37, 2021.

DIAS, M. O. D. S.; MACIEL FILHO, R.; MANTELATTO, P. E.; CAVALETTI, O.; ROSELL, C. E. V.; BONOMI, A.; LEAL, M. R. L. V. Sugarcane processing for ethanol and sugar in Brazil. **Environmental Development**, v. 15, p. 35–51, jul. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.03.004>.

DOMINGUES, A. R.; MAZHAR, M. U.; BULL, R. Environmental performance measurement in arts and cultural organisations: Exploring factors influencing organisational changes. **Journal of Environmental Management**, v. 326, p. 116731, jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116731>.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2023: ano base 2022**. Brasília: EPE, 2023.

FRIEDRICHSEN, J. D. S. A.; BRUNI, A. R. S.; SILVA, G. A. R. D.; GOMES, E. D. S.; SILVA, J. F.; IENTZ, G. D. A. S.; BAETA, F. S.; PIACQUADIO, N. M.; BULLA, M. K.; SANTOS, O. O. O uso adequado dos resíduos da agroindústria sucroalcooleira para o desenvolvimento de subprodutos: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, p. e597111336082, 16 out. 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.36082>.

GALAVOTE, T.; SENA, L. G.; CALIXTO, L. M.; DUTRA, R. M. D. S.; COIMBRA, T. C.; CHAVES, G. D. L. D.; SIMAN, R. R. Avaliação do efeito do fortalecimento da coleta seletiva nos custos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 15, p. e20220108, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.015.e20220108>.

GALDINO JR. LORIS, C. J. S.; SOUSA JANSEN, A. C.; GOMES, E.; RODRIGUES, T.; VASCONCELOS, S.; MOREIRA, P. N. T.; COSTA, A.; SARUBBO, L. Study of sugarcane juice clarification with additives by continuous centrifugation. **Chemical Engineering Transactions**, v. 74, p. 895–900, maio 2019. DOI: <https://doi.org/10.3303/CET1974150>.

GARLET, V.; BEURON, T. A.; ÁVILA, L. V.; BALSAN, L. A. G.; MADRUGA, L. R. D. R. G.; KRAETZIG, E. R. S. Scale of competencies for sustainability at the organizational scope. **Revista de Administração da UFSM**, v. 17, n. 1, p. e1, 22 mar. 2024. DOI: <https://doi.org/10.5902/1983465971281>

HARIYANI, D.; HARIYANI, P.; MISHRA, S.; SHARMA, M. K. A literature review on waste management treatment and control techniques. **Sustainable Futures**, [S.l.], v. 9, p. 100728, jun. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2025.100728>.

HEYDARI, E.; SOLHI, M.; JANANI, L.; FARZADKIA, M. Determinants of Sustainability in Recycling of Municipal Solid Waste: Application of Community-Based Social Marketing (CBSM). **Challenges in Sustainability**, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 16–27, 26 maio 2021. DOI: <https://doi.org/10.12924/cis2021.09010016>.

HIRANOBE, C. T. et al. Sugarcane Bagasse: Challenges and Opportunities for Waste Recycling. **Clean Technologies**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 662–699, 3 jun. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/cleantechnol6020035>.

LEÃO, S. et al. Anionic bio-flocculants from sugarcane for purification of sucrose: An application of circular bioeconomy. **Heliyon**, [S.I.], v. 9, n. 6, p. e17134, jun. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17134>.

MARTINS, J. D. D.; RIBEIRO, M. D. F. O consumismo como fator preponderante para o aumento da geração de resíduos sólidos e os impactos ambientais e na saúde pública. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, [S.I.], v. 12, n. 1, p. 123–152, 10 set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.7213/rev.dir.econ.soc.v12i1.27478>.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, [S.I.], v. 17, n. 1, p. 216–229, abr. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132007000100015>.

MUELLER, C. F. **Logística reversa: meio ambiente e produtividade**. Florianópolis: Grupo de Estudos Logísticos, UFSC, 2005.

OLIVEIRA, G. F. de; CAVICHIOLI, F. A. Uso de torta de filtro na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Interface Tecnológica**, [S.I.], v. 21, n. 1, p. 597–607, 28 jan. 2025. DOI: <https://doi.org/10.31510/infa.v21i1.1889>.

PALERMO, G. C.; BRANCO, D. A. C.; FREITAS, M. A. V. Comparação entre tecnologias de aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos e balanço de emissões de gases de efeito estufa no município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.I.], v. 25, n. 4, p. 635–648, ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522020192384>.

PEREIRA, V. R.; FIORE, F. A. Fatores influenciadores da segregação de resíduos orgânicos na fonte geradora para a viabilização de sistemas de compostagem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.I.], v. 27, n. 4, p. 643–652, ago. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-415220200434>.

PINTO, L. E. V.; CORDEIRO, C. F. S.; ARAUJO, A. S. F.; ARAUJO, F. F. Vinasse improves soil quality and increases the yields of soybean, maize, and pasture. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.I.], v. 26, n. 5, p. 335–340, maio 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n5p335-340>.

PUGLIERI, F. N. et al. How to consider life cycle thinking into ISO 14001? A step-by-step method for small and medium-sized companies and a case study in waste management. **Gestão & Produção**, [S.I.], v. 31, p. e8723, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2024v31e8723>.

RIBEIRO-RODRIGUES, E.; BORTOLETO, A. P.; COSTA FRACALANZA, B. Exploring the influence of contextual and sociodemographic factors on waste prevention behaviour – the case of Campinas, Brazil. **Waste Management**, vol. 135, p. 208–219, nov. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.09.002>.

ROCHA, K. D. Decomposição no solo da torta de filtro derivada do processamento da cana-de-açúcar: emissão de gases de efeito estufa e aspectos microbiológicos. 2014. Mestrado em Microbiologia Agrícola – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 29 jan. 2014. DOI: [10.11606/D.11.2014.tde-05022014-084900](https://doi.org/10.11606/D.11.2014.tde-05022014-084900). Disponível em:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11138/tde-05022014-084900/>. Acesso em: 1 out. 2025.

SILVA, J. H. B. et al. Filter cake increases sugarcane yield. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 83, p. e273414, 2023. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.273414>.

SILVA, M. H. C. D. et al. Resíduos sólidos: o uso da gestão ambiental como ferramenta para o manejo adequado do lixo urbano / Solid waste: the use of environmental management as a tool for the proper management of urban waste. **Brazilian Journal of Development**, vol. 6, n. 11, p. 85668–85677, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-113>.

SOARES, A. D. A. V. L. et al. Contribution of using filter cake and vinasse as a source of nutrients for sustainable agriculture—A review. **Sustainability**, vol. 16, n. 13, p. 5411, 26 jun. 2024. <https://doi.org/10.3390/su16135411>.

TEIXEIRA, A. V.; PILAU SOBRINHO, L. L.; TRUCCOLO REATO, T. Sustentabilidade e ESG: o consumo sustentável no cenário neoliberal. **Veredas do Direito – Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, vol. 21, p. e212633, 1 abr. 2024. <https://doi.org/10.18623/rvd.v21.2633>.

TEIXEIRA, N. A. Avaliação do gerenciamento dos resíduos sólidos gerados no supermercado Empório Pompéia, em Goiânia – GO. 2021. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2021

VALENCIA, M.; SOLÍZ, M. F.; YÉPEZ, M. Waste picking as social provisioning: The case for a fair transition to a circular economy. **Journal of Cleaner Production**, vol. 398, p. 136646, abr. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136646>.

VIEIRA, M. C. M.; GALLARDO, A. L. C. F.; AGUIAR, A. D. O. E.; GAUDERETO, G. L. Plano de gestão integrada de resíduos sólidos de São Paulo na perspectiva da avaliação ambiental estratégica. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, vol. 11, p. e20180155, 2019. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180155>

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2015.

APÊNDICE A

APRESENTAÇÃO DO QUESTIONÁRIO E TERMO DE CONSENTIMENTO

Prezado(a) participante,

O(a) senhor(a) está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Esta pesquisa tem como objetivo compreender e analisar a gestão da torta de filtro no processo sucroenergético, desde sua geração até a destinação final, visando identificar oportunidades de melhoria operacional e ambiental.

A sua experiência e conhecimento no setor são essenciais para que possamos aprofundar a compreensão sobre os desafios, estratégias e oportunidades voltadas à gestão adequada da torta de filtro gerada no processo industrial. A partir disso, será possível propor recomendações que contribuam para a melhoria da eficiência dos processos e o fortalecimento das práticas sustentáveis no setor sucroenergético.

O(a) senhor(a) foi convidado(a) a participar por estar diretamente envolvido(a) com atividades operacionais ou de gestão da torta de filtro. A sua participação consiste em responder a um questionário/entrevista, com tempo estimado de até 45 minutos.

Sua participação é voluntária e, caso aceite, poderá se retirar da pesquisa a qualquer momento, sem qualquer prejuízo. As informações fornecidas serão utilizadas exclusivamente para fins acadêmicos, sendo tratadas com estrito sigilo e confidencialidade, conforme as diretrizes éticas da pesquisa científica. Nenhuma informação pessoal ou institucional será divulgada. Quando necessário exemplificar alguma situação, será utilizada a linguagem generalista para preservar a identidade do(a) participante e da organização.

Os dados coletados poderão ser utilizados em eventos, publicações científicas ou relatórios acadêmicos, sempre de forma anônima. Em caso de desistência, todos os dados fornecidos até o momento serão imediatamente descartados, sem serem utilizados nas análises.

Embora não haja benefícios financeiros diretos pela participação, sua colaboração é fundamental para o avanço do estudo e para o aprimoramento das práticas operacionais relacionadas à geração e ao manejo da torta de filtro. As informações fornecidas contribuirão para o desenvolvimento de indicadores mais precisos, para a melhora da eficiência industrial e para a adoção de processos mais sustentáveis dentro da indústria sucroenergética, fortalecendo tanto a gestão ambiental quanto a competitividade do setor.

Declaro que li e entendi os objetivos, riscos e benefícios de minha participação na pesquisa e desejo participar. O pesquisador também me informou que o projeto é acompanhado pelo orientador, estando dentro do escopo e tutoria do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal da Grande Dourados, localizada na Rodovia Dourados-Itahum, Km 12 Caixa Postal 533 - CEP 79.804-970 - Dourados/MS – Brasil. Fone (67) 3410-2800.

PEDIDO DE CONSENTIMENTO

Eu, _____, declaro que fui informado(a) sobre os objetivos da pesquisa e concordo em participar, fornecendo informações verdadeiras e de acordo com minha experiência e conhecimento. Entendo que posso me recusar a responder qualquer pergunta ou retirar meu consentimento a qualquer momento, sem penalidades.

Assinatura: _____

Data: ___/___/___

CATEGORIA 1 – GERAÇÃO E CONTROLE DA TORTA DE FILTRO

1.1. A torta de filtro é considerada um subproduto relevante no processo industrial e em qual etapa do processo ela é gerada?

[] Sim [] Não → Se sim ou não, por que?

1.2. Existe uma faixa ideal ou esperada de geração de torta de filtro por tonelada de cana moída? Qual seria um valor aceitável?

1.3. O setor realiza controle quantitativo da torta de filtro gerada diariamente?

[] Sim [] Não → Se sim, qual a frequência e o método de registro?

1.4. Existe padronização de procedimentos operacionais voltados à geração e descarte interno da torta de filtro?

[] Sim [] Não → Se sim, quais são os principais pontos desse procedimento?

CATEGORIA 2 – INDICADORES E EFICIÊNCIA OPERACIONAL

2.1. O setor acompanha a eficiência da filtração com base na composição da torta?

[] Sim [] Não → Se sim, que parâmetros são avaliados?

2.2. Quais são os indicadores da torta de filtro utilizados pelo setor para acompanhamento da eficiência do processo industrial?

2.3. A torta de filtro pode indicar perdas de sacarose ou outros componentes do caldo?

[] Sim [] Não → Como essa análise é feita?

2.4. Qual seria a característica ideal da torta de filtro do ponto de vista operacional (ex.: umidade, compactação, cor, volume)?

2.5. A torta muito úmida ou excessiva pode impactar o rendimento ou sinalizar falhas em quais etapas do processo?

2.6. Já foi detectado algum problema de ineficiência industrial por meio da análise da torta de filtro? Como foi resolvido?

CATEGORIA 3 – IMPACTOS NO PROCESSO PRODUTIVO

3.1. A operação dos filtros é considerada um possível gargalo no processo industrial?

[] Sim [] Não → Se sim, quais medidas foram adotadas para mitigar?

3.2. Problemas no manuseio ou descarte da torta de filtro já causaram paradas ou interferências na produção?

3.3. Em períodos de moagem com maior impureza no caldo, a geração de torta impacta diretamente a performance industrial? De que forma?

CATEGORIA 4 – MELHORIAS E CONTROLE TÉCNICO

4.1. Já foram realizadas ações específicas para reduzir a geração excessiva de torta de filtro ou aumentar a eficiência da separação sólido-líquido?

4.2. Existe acompanhamento laboratorial da torta (ex.: umidade, retenção de açúcares, teor de sólidos) com finalidade de controle de processo?

4.3. Quais são as boas práticas adotadas pela equipe industrial para manter o desempenho ideal na geração e no controle da torta?

CATEGORIA 5 – COLETA, ARMAZENAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL

5.1 Quem é responsável pela coleta e transporte da torta no setor?

[] Funcionários do setor [] Setor ambiental [] Equipe terceirizada

5.2 Como são feitos a coleta e o armazenamento temporário do resíduo industrial gerado no setor?

5.3. Qual é o destino final da torta após a coleta?

[] Reciclagem [] Compostagem [] Queima/Caldeira [] Aterro industrial [] Outros, quais?

5.4. O setor acompanha ou tem conhecimento da proporção de quantidade que é reaproveitada ou descartada?

5.5. Na sua percepção, quais são os possíveis impactos ambientais do descarte incorreto dos resíduos gerados neste setor?