



() Graduação () Pós-Graduação
() Artigo completo () Relato de prática () Resumo expandido

GERENCIAMENTO DA TORTA DE FILTRO NO SETOR SUCROENERGÉTICO: implicações operacionais e ambientais

Caroline Maria de Vargas
Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)
caroline.vargas076@academico.ufgd.edu.br

Lucas Rodrigues Deliberador
Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)
lucasdeliberador@ufgd.edu.br

Mônica Georgino
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
monicageorgino@estudante.ufscar.br

RESUMO

O setor sucroenergético brasileiro tem grande importância na transição energética, e a torta de filtro é um subproduto-chave para a eficiência operacional e para a gestão ambiental, devido ao seu potencial agrônomo e ao alto teor de fósforo e de matéria orgânica. Este estudo analisou o gerenciamento da torta de filtro em uma usina sucroalcooleira no sul de Mato Grosso do Sul, com o objetivo de identificar indicadores operacionais e oportunidades de melhoria no controle da filtração e no uso do subproduto. A pesquisa, de abordagem qualitativa, adotou um estudo de caso único, fundamentado em revisão bibliográfica, visita técnica, questionário semiestruturado e análise de conteúdo. Os resultados indicaram que os principais indicadores monitorados são Polarização (Pol), Umidade e Açúcares Totais Recuperáveis (ATR), sendo que a Pol frequentemente ultrapassa o limite recomendado, indicando perdas de sacarose, enquanto a umidade permanece na faixa ideal. Foram também identificadas falhas nos filtros-prensa, o que pode gerar gargalos no processo. O estudo amplia o entendimento sobre os fatores operacionais que influenciam a eficiência da filtração no setor e fornece subsídios para aprimorar o controle operacional e o uso agrícola da torta de filtro, promovendo práticas de Produção Mais Limpa (P+L) e de economia circular.

Palavras-chave: Torta de filtro; Setor sucroalcooleiro; Eficiência operacional; Gerenciamento ambiental; Gestão da produção.



1 INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético no Brasil é de grande importância econômica, social e ambiental, tornando o país um dos maiores produtores globais de açúcar e etanol. Além de fortalecer a cadeia do agronegócio, gerando empregos e promovendo o desenvolvimento regional, ele desempenha uma função essencial na transição energética, pois o etanol é um biocombustível com baixas emissões de gases de efeito estufa, alinhado às metas de descarbonização do país (EPE, 2023).

Contudo, durante o processamento industrial da cana-de-açúcar, diversas irregularidades podem comprometer a eficiência operacional, resultando em perdas de sacarose e maior geração de resíduos. Na etapa de filtração do caldo, por exemplo, falhas, como doses inadequadas de produtos químicos, problemas de manutenção e variações nos processos, podem aumentar a quantidade de torta de filtro e elevar os níveis de Pol e de umidade nesse coproduto (Speratti et al., 2018). Esses problemas apontam para a ausência de padronização operacional e de monitoramento sistemático de indicadores críticos, o que resulta em perdas industriais consideráveis.

O processo de filtração na indústria de açúcar e álcool, responsável pela formação da torta de filtro, é essencial para a eficiência da produção e para a gestão ambiental da usina. No entanto, a falta de práticas padronizadas de controle técnico, juntamente com a ausência de ações para aprimorar a operação, pode resultar em perdas de sacarose, instabilidade na qualidade do subproduto e dificuldades na gestão e na destinação do resíduo (Bogale; Argessa, 2025).

Quando a torta de filtro apresenta altos níveis de sacarose e umidade, ela deixa de ser apenas um desperdício econômico, decorrente da menor recuperação de açúcares, e torna-se um desafio logístico e ambiental. Seu volume maior exige mais recursos de transporte e pode aumentar os impactos no destino final do coproduto (Bano et al., 2025). Além disso, o descumprimento dos parâmetros dessas variáveis prejudica o uso agrícola da torta, reduzindo seu potencial como fertilizante e sua contribuição para reduzir o uso de insumos químicos, aspectos essenciais para a sustentabilidade e a gestão ambiental na cadeia sucroenergética (Silva et al., 2023).

Manyanga, Pisa e Muchaonyerwa (2026) indicam que usinas que não realizam monitoramento e controle rigorosos da torta de filtro podem apresentar perdas industriais superiores às médias do setor, prejudicando a eficiência do processo e o rendimento econômico e energético da produção. Portanto, é essencial entender os fatores operacionais que influenciam



esses indicadores para identificar oportunidades de melhoria e propor ações corretivas fundamentadas em dados.

Avaliar a condução da gestão na indústria sucroenergética ajuda a identificar lacunas nos procedimentos operacionais, na eficiência dos processos e no cumprimento das normas ambientais. Essa análise facilita a proposição de ações de otimização, visando a ganhos econômicos, melhorias na performance industrial e na sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, levanta-se a questão que este trabalho teve como objetivo responder: *Como é gerenciada a torta de filtro no setor sucroenergético e quais ações podem ser implementadas para melhorar seu controle e aproveitamento?*

A torta de filtro tem potencial para ser reaproveitada na fertilização agrícola e na melhoria das características físico-químicas do solo, reforçando sua relevância para a economia circular e a gestão ambiental. Assim, é fundamental realizar análises que compreendam seu comportamento operacional, avaliando sua geração, composição e indicadores de eficiência, tanto industriais quanto ambientais. Estudos desse tipo ajudam na tomada de decisão, otimizando o processo de filtração e promovendo o uso eficiente do resíduo, alinhando-se às práticas de gestão ambiental. Finalmente, esta pesquisa também está diretamente relacionada 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 o manejo de subprodutos (ODS 13 e 15).

2 REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção descreve os principais subprodutos gerados ao longo do processamento da cana-de-açúcar, abordando suas características físico-químicas, formas de valorização e sua relação com indicadores de eficiência industrial e de sustentabilidade no setor sucroenergético.

2.1. 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 a aplicações que agreguem valor econômico significativo, principalmente no âmbito industrial

(Friedrichsen et al., 2022). Na Figura 1, é possível observar os principais subprodutos gerados na indústria sucroalcooleira e suas diferentes formas de reaproveitamento.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Durante a etapa de extração do caldo da cana-de-açúcar, é gerado um volume expressivo de bagaço, correspondente a aproximadamente 30% da cana moída, constituindo uma biomassa de grande relevância energética. No Brasil, cerca de 95% desse material é utilizado como combustível em caldeiras para geração de vapor e de 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 pela 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 apresenta textura pastosa, coloração escura e teor elevado de umidade. Estima-se que, para cada tonelada de cana-de-açúcar moída, sejam gerados entre 20 e 30 quilos de torta de filtro (CONAB, 2024).

A composição desse resíduo é rica em matéria orgânica e em 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, como a gestão de resíduos, o controle de perdas, a eficiência dos processos e a sustentabilidade. A quantidade e a qualidade da torta gerada podem indicar falhas nas etapas de clarificação ou de 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, 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 era descartá-la em corpos hídricos 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 um meio 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 no estabelecimento e no acompanhamento de indicadores



de eficiência e de 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, na dosagem de insumos ou na 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 de 70%, sendo recomendado o monitoramento contínuo para 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 constitui 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 agrônômica quando aplicado em doses adequadas (Christofoletti et al., 2013). Pesquisas de campo reforçam esses resultados, indicando que o uso 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 (Silva et al., 2023). 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 (Bano et al., 2025). Assim, integrar indicadores de custo, produtividade e redução de insumos químicos permite que a usina avalie, de forma objetiva, os benefícios financeiros do reaproveitamento desse subproduto.

Além disso, o monitoramento contínuo desses dados permite identificar rapidamente desvios operacionais que afetam a qualidade da clarificação, como variações de Pol da torta, excesso de lodo ou formação anormal de sólidos sedimentáveis. Indicadores como a eficiência de clarificação, a estabilidade da decantação e a constância da formação do bolo filtrante ajudam a diagnosticar falhas nos pontos de dosagem de coagulantes, mudanças de 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 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

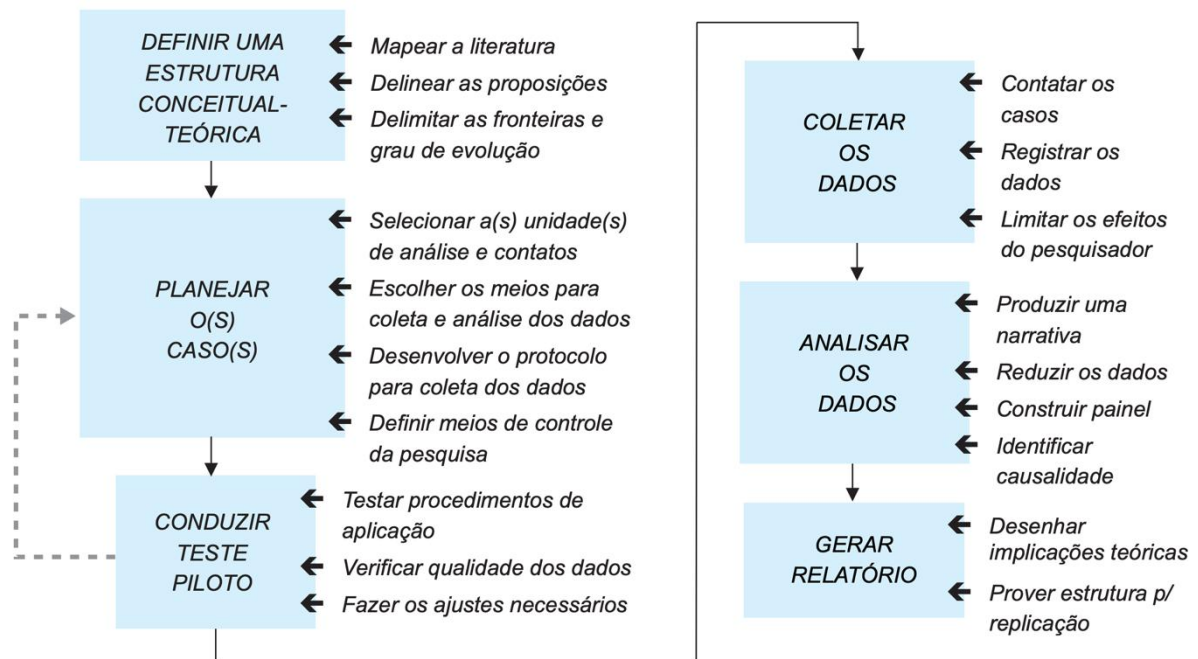
Segundo Miguel (2007), o estudo de caso é uma das abordagens metodológicas mais utilizadas na gestão de operações. Esse método tem caráter empírico e busca explorar fenômenos naturais em seus ambientes reais. Normalmente, considera-se que as fronteiras entre o fenômeno e o seu contexto não são claramente delimitadas, o que exige uma análise detalhada do objeto de estudo. O estudo de caso pode ser único, quando se analisa um único caso, ou múltiplo, quando diversos casos são examinados (Yin, 2015).

Esta investigação utilizou um estudo de caso único como método para compreender e analisar o contexto específico em que o trabalho foi realizado. O estudo de caso permite explorar a mesma questão em diferentes cenários dentro da organização ou avaliar questões distintas no ambiente empresarial (Voss; Tsikriktsis; Frohlich, 2002). Entre os principais benefícios dessa abordagem estão a possibilidade de gerar novas teorias e de aprofundar a compreensão de eventos reais e atuais (Yin, 2018). Segundo Stake (1995), um estudo de caso busca capturar toda a complexidade de uma situação particular, concentrando-se na análise detalhada de suas características e nuances.

Neste estudo, o método utilizado segue as orientações de Miguel (2007), conforme apresentado na Figura 2. O processo começou com a criação de uma estrutura conceitual-teórica, fundamentada em pesquisa bibliográfica, para, posteriormente, definir os casos a serem analisados. Depois, foram elaborados o questionário e o checklist de observações para o estudo de caso. Esses instrumentos passaram por um teste-piloto para avaliar a qualidade dos dados e realizar os ajustes necessários antes da coleta.

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 2: Modelo para construção de estudo de caso na Gestão de Operações



Fonte: Miguel (2007).

A unidade de análise do estudo foi uma usina sucroalcooleira na região sul de Mato Grosso do Sul, com capacidade instalada de processar 24.000 toneladas de cana-de-açúcar por dia. Seu principal produto é o açúcar VHP (*Very High Polarization*), um tipo de açúcar bruto de alta pureza (polarização acima de 99,3%), produzido principalmente para exportação e refino. Não destinado ao consumo direto, o açúcar serve como matéria-prima para outros produtos. Na safra 2024/2025, a produção atingiu 82.259,495 toneladas. A produção de etanol ocorre de forma complementar, em função da demanda do mercado. A usina também exporta energia elétrica gerada por meio de cogeração. Sua equipe é composta por funcionários que atuam em três turnos operacionais e em um turno administrativo. A estrutura organizacional inclui setores 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, confiabilidade e logística industrial. Este estudo focou no setor de tratamento de caldo, especialmente na etapa de filtração por meio do equipamento filtro-prensa.

O instrumento de coleta de dados utilizado foi um questionário semiestruturado, adaptado às particularidades da indústria e disponível no Apêndice. Baseou-se no modelo proposto por Teixeira (2021). Esse instrumento possibilitou obter informações e percepções do entrevistado, que possui experiência e conhecimento específicos, contribuindo para uma análise detalhada dos dados. A adaptação do questionário buscou aprofundar os aspectos identificados

na pesquisa e facilitar o alcance dos objetivos propostos. As entrevistas e as visitas de acompanhamento foram realizadas em agosto de 2025. As perguntas buscavam obter informações detalhadas sobre o funcionamento do processo investigado. Com o consentimento dos participantes, as entrevistas foram transcritas e, posteriormente, analisadas. Para oferecer contexto aos dados, o Quadro 1 descreve as características do entrevistado, incluindo o cargo, o tempo de experiência na usina e o nível de conhecimento técnico.

Quadro 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 de produção, participa da gestão do setor e contribui diretamente nas melhorias e operações.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A análise dos dados teve como objetivo compreender e interpretar as informações obtidas por meio das entrevistas com o participante e do acompanhamento do processo. Após aplicar o questionário, realizar visitas técnicas e transcrever as entrevistas, realizou-se uma análise qualitativa aprofundada. Essa abordagem permitiu comparar informações, detectar discrepâncias e codificar fatores emergentes das transcrições, facilitando o tratamento e a interpretação dos dados coletados.

4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS

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

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

Segundo o relato do entrevistado, a torta de filtro é formada após a decantação do caldo, quando o lodo é conduzido ao filtro-prensa. Nesse estágio, o caldo residual é separado por filtração, resultando na torta de filtro. Essa sobra é **importante na indústria** tanto por indicar possíveis falhas operacionais quanto por estar relacionada à redução das perdas de açúcares ao longo da cadeia produtiva. Em termos práticos, quanto maior o teor de açúcares na torta, maior

é o sinal de que o sistema pode estar operando abaixo do ideal.

A umidade elevada da torta pode indicar maior retenção de caldo, o que leva a maiores perdas de açúcares. Da mesma forma, aumentos súbitos na produção de torta por tonelada de cana, assim como altos teores de sólidos solúveis, podem apontar falhas na dosagem de polímeros, desequilíbrios químicos na clarificação ou limitações no funcionamento do filtro-prensa. A medição regular desses parâmetros é uma ferramenta importante para estimar perdas e monitorar a eficiência operacional da usina.

Conforme mencionado na entrevista, no início de cada safra, são definidas **metas operacionais** que orientam o plano de produção e determinam a quantidade ideal de torta de filtro por tonelada de cana processada. Essa estimativa baseia-se na análise de diversas variáveis monitoradas pelo setor agrícola. Guedes Ramos et al. (2016) indicam que a ausência de ajustes adequados nas regulagens das colhedoras, aliada a condições adversas do canavial, pode aumentar as perdas e a quantidade de impurezas na matéria-prima coletada. Carlucci et al. (2021) e Testa et al. (2023) acrescentam que a qualidade da cana-de-açúcar depende das condições do campo, sendo a porcentagem de impurezas vegetais influenciada por fatores como o porte da planta, a umidade, a facilidade de despalha da variedade e o espaçamento entre fileiras. Além disso, canaviais encurvados ou entrelaçados dificultam a coleta eficiente da biomassa e prejudicam o desempenho do sistema de limpeza durante a colheita.

De acordo com o entrevistado, o setor responsável pelo tratamento do caldo realiza **controle diário** da quantidade de torta de filtro produzida. Todo caminhão que transporta esse subproduto passa por uma balança, cujos dados são registrados e compilados em boletins diários que apresentam os principais indicadores da produção industrial. Para **padronizar os procedimentos operacionais** do filtro-prensa, foram elaborados documentos específicos que detalham todas as etapas do processo. Os operadores recebem treinamento com base nesses protocolos, garantindo que as atividades sejam realizadas corretamente no âmbito das rotinas operacionais.

4.2. Categoria 2: Indicadores e eficiência operacional

A **eficiência da filtração** é avaliada pela análise da torta de filtro, considerando indicadores como polarização (Pol), umidade e Açúcares Totais Recuperáveis (ATR). Conforme De Paiva et al. (2025), a Pol reflete o teor de sacarose na cana-de-açúcar, sendo um parâmetro essencial para a indústria sucroenergética. Quanto maior a sacarose, maior a qualidade da

matéria-prima, pois esse dissacarídeo, formado por glicose e frutose, é o principal composto extraído na moagem.

Conforme o entrevistado, o ATR representa a soma dos açúcares fermentescíveis na cana (sacarose, frutose e glicose) e é um parâmetro para avaliar o potencial de recuperação de produtos finais, como açúcar e etanol. Parte desse teor **pode ser perdida na torta de filtro**, especialmente quando há ineficiências na filtração, como falhas na formação da camada filtrante, dosagem inadequada de adjuvantes (terra, polímeros ou cal), variações de pressão e temperatura, ou desgaste dos equipamentos de clarificação. Portanto, a análise sistemática desses fatores é essencial para identificar perdas 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 do 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 no resíduo, além de **teor de umidade na faixa de 64% a 70%**, considerado adequado 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 indica 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, o tempo de transporte até a unidade de moagem e diversos outros aspectos que influenciam 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 (superior a 1,2%). Esse desvio indica perdas de sacarose no subproduto, comprometendo tanto a eficiência de recuperação do processo quanto o balanço de massa e de energia da unidade industrial. Essas perdas podem estar relacionadas a fatores operacionais, como a regulagem inadequada e a manutenção deficiente do filtro, variações na dosagem dos agentes clarificantes e falhas nas etapas de decantação. Esses aspectos são amplamente descritos na literatura como responsáveis pela maior retenção de açúcar na torta. Além disso, quando a torta apresenta teores de Pol acima dos 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.

Além disso, é importante ressaltar que **tortas com alto teor de umidade** podem



comprometer a confiabilidade do indicador de quilos de torta por tonelada de cana processada (kg torta/tc), levando a uma interpretação errônea de aumento na produção de subproduto. A umidade excessiva também prejudica o valor de ATR, pois reduz a eficiência na extração do caldo e causa perdas de sacarose durante o processo produtivo.

A umidade da torta de filtro permaneceu dentro dos limites estabelecidos para o processo industrial, variando entre 64% e 70%. Este intervalo é considerado ideal, pois garante estabilidade adequada, favorecendo a eficiência da etapa de filtração e o uso subsequente do subproduto. Manter a umidade nesses limites indica que o sistema de prensagem do filtro-prensa está funcionando bem, recuperando o caldo retido e produzindo uma torta com propriedades físicas adequadas para uso agrícola, seja como condicionador de solo ou como fertilizante orgânico.

A análise da torta de filtro revelou diversos **problemas de ineficiência industrial**, como vazamentos na tubulação de vácuo, raspas mal anguladas e telas danificadas nos filtros, fatores que reduzem a eficiência da filtração e aumentam o teor de umidade e impurezas na torta. Para resolver essas questões, realizam-se inspeções nos filtros, trocas de telas danificadas, ajustes do posicionamento das raspas e a implementação de rotinas de manutenção preventiva, como a lavagem periódica das flautas. Além disso, verificou-se que, quando o decantador opera com níveis de sólidos acima de 58%, há aumento no volume de lodo direcionado ao filtro, elevando o teor de Pol na torta.

Embora essa condição reduza temporariamente a eficiência do filtro, ela é adotada para evitar a quebra do pino de segurança, o que provocaria uma parada imprevista. Assim, a análise da torta de filtro mostrou-se uma ferramenta eficaz para monitorar o desempenho industrial e detectar precocemente falhas operacionais e mecânicas. Nos filtros contínuos de tambor rotativo a vácuo na indústria sucroalcooleira, o desempenho depende das características e condições dos meios filtrantes, que influenciam a formação e a desidratação da torta, impactando a umidade, a retenção de impurezas e açúcares. Estudos mostram que variações na integridade das telas (Figura 3), no ajuste das raspas e na estabilidade do vácuo podem comprometer a eficiência do processo de filtração (Oliveira; Cavichioli, 2025). Portanto, o controle operacional e a manutenção regular dos filtros são essenciais para garantir a qualidade da torta e reduzir as perdas na etapa de clarificação do caldo.

Figura 3: Telas filtrantes utilizadas na retenção de sólidos do caldo



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4.3. Categoria 3: Impactos no processo produtivo

A operação dos filtros é considerada um **possível gargalo no processo industrial**. Segundo o entrevistado, a paralisação dos filtros, devido a falhas ou à necessidade de manutenção, afeta diretamente a continuidade da moagem. Quando há redução no número de filtros operantes, é preciso reduzir a taxa de processamento da cana, o que prejudica o aproveitamento da matéria-prima e a produção final. Problemas nos filtros já causaram **interrupções ou quedas na produtividade**, prejudicando a eficiência do processo e a recuperação de açúcares. Além disso, momentos em que o caldo apresenta **maior concentração de impurezas** afetam o desempenho industrial, especialmente nas etapas de tratamento e de filtração.

Nesses casos, há aumento na geração de torta de filtro, o que compromete a eficiência do processo, devido à presença de ceras epicuticulares e de polímeros naturais da cana, como amido, pectinas e gomas. Esses compostos, ao entrarem no caldo durante a moagem, aumentam sua viscosidade, dificultando a clarificação e a separação das impurezas, além de aumentarem a formação da torta e as perdas de açúcares, reduzindo o rendimento da usina. Para manter a estabilidade industrial, é necessário maior controle operacional e o uso de auxiliares de processo, como polímeros flocculantes (Fang et al., 2025).

4.4. Categoria 4: Melhorias e controle técnico

Segundo o entrevistado, várias **ações corretivas e melhorias** já foram adotadas para otimizar a separação sólido-líquido e reduzir a quantidade de torta de filtro gerada. Entre essas ações, estão testes com diferentes tipos de polímeros e ajustes no pH do lodo, visando melhorar a floculação. Nessa etapa, formam-se flocos que agrupam os sólidos em suspensão, facilitando sua sedimentação em ritmo adequado. Quando a floculação não funciona bem, a separação dos componentes não açucarados fica limitada, pois, de acordo com a Lei de Stokes, a diferença de densidade entre as partículas e o meio não é suficiente para garantir uma decantação eficiente (Albuquerque, 2016).

Conforme relatado, o setor de controle de qualidade realiza **monitoramento laboratorial** sistemático e diário. Essa atividade tem como objetivo fornecer informações para o gerenciamento do processo de filtração. Os principais parâmetros analisados incluem: Pol da torta (que indica a perda de açúcares), pH do lodo, Brix do filtrado, teor de sólidos no caldo filtrado e a umidade da torta. Esses dados são essenciais para avaliar a eficiência da clarificação e filtração na produção de açúcar. Como mencionado antes, o **Pol da torta** mostra a quantidade de açúcar retido na torta de filtro, indicando possíveis perdas no processo. O **pH do lodo** indica se está mais ácido ou mais alcalino, o que afeta a formação de flocos na clarificação. Já o **Brix do filtrado** mede a concentração de sólidos solúveis, principalmente açúcares, no caldo que já passou pela filtração. O **teor de sólidos no caldo filtrado** indica se partículas em suspensão ainda permanecem, não totalmente removidas. Por fim, a **umidade da torta** indica a quantidade de água retida no resíduo sólido, influenciando tanto o reaproveitamento do caldo quanto o destino e a qualidade desse subproduto (Leão et al., 2023).

Para garantir o **desempenho ideal na produção e no controle da torta**, a equipe industrial aplica boas práticas, incluindo a limpeza regular das flautas de lavagem das telas filtrantes, a manutenção da concentração do lodo em cerca de 35% no mesclador e o controle rigoroso da temperatura do Brix do condensado. Essas ações operacionais são essenciais para manter a estabilidade do processo, a qualidade do produto final e reduzir perdas na fase de filtração.

Na Figura 4, as flautas de lavagem desempenham papel importante no processo de filtração do caldo, pois aplicam jatos de água que mantêm as telas filtrantes limpas e ajudam a remover a torta acumulada ao longo da operação. Quando essas flautas não são limpas corretamente, os bicos podem entupir ou o fluxo de água diminuir, o que prejudica a eficiência

da lavagem, aumenta a resistência à filtração, reduz a capacidade de prensão do filtro e aumenta a retenção de caldo na torta. Além disso, a falta de manutenção pode gerar falhas operacionais, comprometer a qualidade do filtrado e aumentar as perdas industriais. Por isso, é essencial realizar limpezas periódicas nas flautas para garantir o funcionamento adequado, manter a eficiência do processo e promover maior estabilidade operacional no setor de tratamento de caldo.

Figura 4: Flautas de lavagem de tela



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4.5. Categoria 5: Coleta, armazenamento e destinação final

Segundo o entrevistado, a **coleta e o transporte da torta de filtro** no setor são realizados por uma equipe terceirizada contratada pela empresa, responsável por assegurar o transporte e a destinação correta do resíduo. Em relação ao procedimento de **coleta e armazenamento temporário dos resíduos industriais**, mencionou-se que os caminhões da terceirizada realizam a coleta de forma contínua, sem interromper o fluxo do processo produtivo. Após a coleta, **a torta é levada ao pátio de compostagem** do setor agrícola da empresa, onde passa por tratamento e, depois, é usada como fertilizante nas lavouras de cana-de-açúcar da própria companhia.

Essa atividade é comum em várias indústrias que produzem torta (Rocha, 2014), pois promove o desenvolvimento da cultura a um custo mais baixo. Além de várias vantagens, a principal é devolver ao solo todos os nutrientes que a planta utilizou. A compostagem é um processo de decomposição, realizado por microrganismos aeróbicos, que envolve reações bioquímicas. Ao final, resulta um material estável, benéfico para os solos e para o crescimento

das plantas. A Figura 5 ilustra a torta de filtro sendo despejada no caminhão logo após passar pelo filtro-prensa, destacando a fase inicial do transporte para o pátio de compostagem.

Figura 5: Torta de filtro sendo depositada no caminhão após passagem pelo filtro-prensa



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Sobre o monitoramento da **proporção de torta reaproveitada ou descartada**, o entrevistado afirmou que o setor de tratamento de caldo não realiza esse acompanhamento, pois a responsabilidade pelo manuseio e pelo reaproveitamento da torta é do setor agrícola, que atua de forma independente das operações industriais. Quanto aos **possíveis impactos ambientais** do descarte ou do manejo inadequado da torta de filtro, destacou que essas práticas podem gerar efeitos negativos, como mau odor decorrente da decomposição da matéria orgânica, acúmulo de insetos e liberação de gases nocivos.

Além disso, o descarte inadequado da torta pode provocar riscos ambientais significativos, como a contaminação do solo por lixiviação de compostos orgânicos e de nutrientes em excesso, o que pode alterar o pH do solo e levar à eutrofização de corpos d'água. A decomposição da matéria orgânica também pode aumentar a proliferação de vetores e a emissão de odores desagradáveis, além de liberar gases de efeito estufa, como o metano. No entanto, é importante destacar que, quando bem manejada, a torta possui grande valor agrônomico, sendo uma fonte de nutrientes essenciais, como o fósforo, aproveitáveis na fertilização eficiente das lavouras (Ketrot et al., 2025). O Quadro 2 expõe uma síntese da análise de conteúdo das cinco categorias analisadas ao longo da entrevista.



Quadro 2: Síntese dos resultados por categoria de análise

Categoria	Tópico-chave	Explicação
I: 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.
II: 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, rasps mal posicionadas. Soluções: inspeções, substituição de telas, correção de rasps e manutenção preventiva.
III: 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 rasps, 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.
	Impacto de impurezas na	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,

Categoria	Tópico-chave	Explicação
	performance industrial	gomas e ceras) e reduzindo a eficiência na recuperação de açúcares, impactando negativamente o rendimento global da usina.
IV: Melhorias e controle técnico	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.
V: 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 pelos autores (2026).

4.6. Oportunidades de melhoria operacional e ambiental

Com os dados analisados sobre o desempenho do setor de tratamento de caldo e de produção de torta, constatou-se a necessidade de elaborar um mapeamento estruturado dos principais fatores que levam a perdas industriais e a impactos operacionais. Assim, realizou-se uma análise qualitativa das falhas nas etapas (1) de clarificação e floculação, (2) de filtração e (3) de coleta e destinação final da torta (Quadro 3). A primeira fase analisada envolveu a clarificação e a floculação, responsáveis por estabilizar quimicamente o caldo e formar flocos adequados à decantação. A investigação revelou falhas importantes nesta etapa, como o doseamento inadequado de polímeros, o pH fora da faixa ideal e o excesso de sólidos no decantador.

Essas falhas elevam a turbidez residual do caldo e aumentam a carga de sólidos direcionada à filtração, o que leva à formação de tortas mais úmidas e com maior retenção de sacarose. Pesquisas indicam que o tipo e a dosagem dos polímeros, quando combinados a um



controle rigoroso do pH, são essenciais para minimizar perdas de sacarose e otimizar a desaguagem (Teixeira et al., 2023). Assim, a fase de clarificação e floculação desempenha papel fundamental no desempenho das etapas seguintes, sendo crítica para evitar sobrecargas na filtração e perdas relacionadas ao ATR.

A segunda fase avaliada foi a filtração, considerada a principal fonte de perdas na indústria. Os resultados indicam que o teor de umidade e o teor de Pol na torta estão diretamente associados a condições inadequadas de operação e manutenção do filtro-prensa. Foram identificados problemas relevantes, como desgaste das telas filtrantes, obstruções, posicionamento incorreto das raspas e alta presença de impurezas no caldo (ceras, amido, pectinas e gomas), fatores que aumentam a viscosidade e dificultam a drenagem. Tortas com Pol acima de 1,2% e maior retenção de caldo revelam perdas significativas de açúcares, o que afeta o rendimento da usina. A literatura confirma esses resultados, destacando que a integridade das telas, a higiene dos sistemas de lavagem e a manutenção preventiva são essenciais para melhorar a eficiência da filtração e minimizar as perdas de sacarose (Ahmed et al., 2025).

A terceira etapa avaliada foi a coleta e a destinação final da torta, fase que, embora ocorra após o processo de produção, tem impacto direto na valorização do subproduto e na redução dos impactos ambientais. A análise destacou que falhas no manejo e na disposição podem levar ao desperdício de nutrientes, à perda de açúcares ainda presentes na torta e ao risco de contaminação do solo e da água. Estudos recentes indicam que a qualidade da torta usada na agricultura ou em outros fins depende de fatores como a umidade controlada, a composição estável e a ausência de variações excessivas, condições diretamente influenciadas pelas etapas anteriores (Soares et al., 2024). Assim, a colaboração entre os setores industrial e agrícola é essencial para garantir o uso adequado da torta como condicionador de solo, promovendo a economia circular e a redução de passivos ambientais.

Esta avaliação ajuda a identificar antecipadamente possíveis modos de falha, seus impactos no processo e suas causas principais, permitindo a implementação de ações para melhorar a eficiência industrial e diminuir perdas, especialmente relacionadas ao ATR e ao teor de Pol retido na torta. A abordagem apoia a tomada de decisão e aumenta a confiabilidade operacional nas etapas analisadas. A análise de falhas identificou modos que afetam diretamente o desempenho industrial e a qualidade do processo, como problemas na dosagem de polímeros, desvios no pH do lodo, aumento da carga de sólidos no decantador, desgaste das telas do filtro-prensa e oscilações que elevam a retenção de açúcares na torta.

As ações sugeridas ressaltam a relevância de manter o controle rigoroso dos parâmetros operacionais, promover a integração entre as equipes de processo, de manutenção e de laboratório e implementar estratégias preventivas e corretivas. Nesse contexto, a análise de falhas pode ser vista como uma ferramenta para aprimorar o controle industrial, reduzir desperdícios e assegurar a estabilidade do processo de produção, alinhando-se aos princípios de melhoria contínua e às práticas de gestão ambiental adotadas pela usina.

Quadro 3: 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)	Floculação 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: elaborado pelos autores (2026).

No que diz respeito ao manejo e à destinação da torta, observa-se que a valorização

desse resíduo, seja para uso agrícola, co-combustão ou fabricação de bioprodutos, depende da estabilidade de suas características físicas, como a umidade controlada e a baixa variabilidade na composição. A destinação incorreta ou o uso de torta com alto teor de caldo resulta no desperdício de açúcares recuperáveis e pode causar impactos ambientais (Soares et al., 2024).

Nesse contexto, implementar os princípios de produção mais limpa (P+L) surge como uma oportunidade estratégica para combinar eficiência na produção e sustentabilidade ambiental. A metodologia da P+L incentiva a revisão contínua dos processos industriais, com foco na redução de perdas desde a origem, na otimização do reaproveitamento interno e na valorização de subprodutos (Fresner et al., 2023). No Quadro 4, podem-se ver as ações e os benefícios de aplicar a P+L no processo de filtração.

Quadro 4: 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 pelos autores (2026).

No caso da torta de filtro, a redução da quantidade de material pode ser alcançada por meio de um controle mais rigoroso das etapas de clarificação e de filtração, ajustando variáveis como a dose de reagentes, o tempo de residência e os ciclos de filtração. No reaproveitamento interno, pode-se incluir o retorno do filtrado ao processo, minimizando as perdas de caldo e aumentando a eficiência geral. Essa prática já é adotada pelo setor, em que o caldo residual no lodo, após passar pelo filtro-prensa, é devolvido ao processo. Por fim, a valorização do subproduto ocorre quando a torta de filtro é destinada à agricultura, atuando como condicionador do solo e fonte de nutrientes para a cultura da cana-de-açúcar.

Essa estratégia está alinhada aos princípios da economia circular e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), promovendo o uso racional de recursos, a redução de resíduos e o aprimoramento do desempenho ambiental do setor sucroenergético. Assim, as oportunidades de melhoria indicam a necessidade de integrar o controle operacional a ferramentas de análise e monitoramento contínuo, adotando práticas de P+L e de manutenção preditiva. Essas ações,



além de fortalecer a performance industrial, mitigam os impactos ambientais e consolidam a sustentabilidade do processo de filtração.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo analisar a gestão da torta de filtro no setor sucroenergético, desde sua produção até sua destinação final, buscando oportunidades de melhoria operacional e ambiental. A pesquisa abordou aspectos técnicos, operacionais e ambientais, mostrando que a falta de controle e de padronização na geração e manipulação do coproduto pode afetar a eficiência, gerando perdas de sacarose e elevando os custos logísticos e ambientais. Os resultados indicaram que a torta de filtro é um importante indicador de desempenho do processo de filtração, pois suas características físicas e químicas refletem a eficiência das etapas de clarificação e de separação sólido-líquido.

Fatores como o uso inadequado de insumos, falhas na manutenção e a falta de monitoramento contínuo aumentam o teor de umidade e de Pol retido na torta, evidenciando perdas de matéria-prima e redução da eficiência. Sob a ótica ambiental, concluiu-se que a destinação adequada da torta de filtro é estratégica para a sustentabilidade do setor, especialmente quando revertida na agricultura como alternativa parcial aos fertilizantes químicos. Assim, sua gestão apoia os princípios da Produção Mais Limpa e da economia circular, destacando a importância de uma abordagem integrada que considere variáveis técnicas, logísticas e ambientais ao longo do ciclo produtivo.

Teoricamente, o estudo amplia a compreensão da torta de filtro, não apenas como resíduo, mas também como indicador de eficiência operacional, relacionando conceitos de gestão de operações, controle de processos e sustentabilidade industrial ao setor agroindustrial. Os resultados corroboram a literatura ao enfatizar intervenções como a automação do controle de pH e da dosagem de polímeros, a manutenção preditiva e procedimentos padronizados para o acondicionamento e a destinação do coproduto, estratégias que podem reduzir perdas e melhorar a eficiência do processamento. Do ponto de vista gerencial, destaca-se a necessidade de monitoramento contínuo e de padronização na filtração, utilizando indicadores como teor de sólidos, Pol retido, compactação e umidade, promovendo decisões baseadas em dados e ações preventivas.

A colaboração entre produção, manutenção e meio ambiente mostrou-se crucial para a sustentabilidade operacional, recomendando-se metodologias de melhoria contínua como

PDCA, 5S e Kaizen. Como limitação, o estudo baseou-se em informações qualitativas de uma única planta, sem medições laboratoriais diretas da composição da torta, o que limita a generalização dos resultados. Para futuros estudos, recomenda-se a realização de análises quantitativas e comparativas, com tecnologias de automação e de sensoriamento em tempo real, além de pesquisar alternativas de reaproveitamento energético e agrícola de alto valor agregado, fortalecendo o papel da torta de filtro na sustentabilidade e na economia circular.

REFERÊNCIAS

- AHMED, A. E. G.; JORDAN, C.; WALCHER, E.; KULOGLIJA, S.; TURETSCHKEK, R.; LOZAR, A.; TOMASETIG, D.; HARASEK, M. Membrane processes for remediating water from sugar production by-product stream. **Membranes**, v. 15, n. 7, p. 207, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/membranes15070207>.
- 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, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100751>.
- BANO, S.; SINGH, K.; CHAUDHARY, A.; CHANDRA, R. Innovative methods for the valorisation of solid wastes from sugar mill and refineries for sustainable development: A review. **Cleaner Waste Systems**, v. 10, p. 100230, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100230>.
- BOGALE, W.; ARGESSA, G. Turning waste into clarity: a review of sugarcane bagasse-based activated carbon in juice purification. **American Journal of Applied and Industrial Chemistry**, v. 9, n. 2, p. 53–67, 2025. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ajaic.20250902.13>.
- CAMARGO, J. M. de O.; RÍOS, M. G.; 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**. IntechOpen, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.95936>.
- CARLUCCI, F. V.; LEMOS, S. V.; SALGADO JUNIOR, A. P.; REBEHY, P. C. P. W. Environmental, field and impurity factors to increase the agricultural performance of Brazilian and Australian sugarcane mills. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 23, n. 7, p. 2083–2100, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02105-z>.
- CHRISTOFOLETTI, C. A.; ESCHER, J. P.; CORREIA, J. E.; MARINHO, J. F. U.; FONTANETTI, C. S. Sugarcane vinasse: environmental implications of its use. **Waste Management**, v. 33, n. 12, p. 2752–2761, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.09.005>.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da**

safrã 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, e230111537097, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.37097>.

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, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/bbb.2688>.

DE PAIVA, J. C.; JUNIOR CARDOSO, W.; DE OLIVEIRA FILHO, H. R.; PEREIRA BARBOSA, M. H.; PETERNELLI, L. A.; TEÓFILO, R. F. Enhanced total recoverable sugar (TRS) estimation in sugar cane juice by HPLC and rapid TRS prediction via NIR spectroscopy coupled with partial least-squares modeling. **ACS Food Science & Technology**, v. 5, n. 8, p. 3169–3179, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.5c00485>.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balãço energético nacional 2023: ano base 2022.** Brasília: EPE, 2023.

FANG, T.; LI, Y.; HUANG, Q.; WEN, T.; ZHOU, X.; GAI, L.; WEI, T.; NIU, D.; XIE, C.; LI, K. Preparation of sodium alginate grafted itaconic acid green flocculant and its application in clarification of sugarcane juice. **Food Research International**, v. 222, p. 117769, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.117769>.

FRESNER, J.; KRENN, C.; HADDAD, J.; ABDALLAH, R.; MATALQA, B.; ABU SADA, A. A new approach to motivate micro and small enterprises for resource-efficient and cleaner production in Jordan. **Sustainability**, v. 17, n. 6, p. 2404, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17062404>.

FRIEDRICHSEN, J. D. S. A. et al. O uso adequado dos resíduos da agroindústria sucroalcooleira para o desenvolvimento de subprodutos: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, e597111336082, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.36082>.

GALDINO JR., 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, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3303/CET1974150>.

KETROT, D.; SARIBUT, S.; SOMBATCHAROENNON, A.; PEUNGYAM, W.; POOMSONG, K.; JAROENCHASRI, R.; WISAWAPIPAT, W. Release of nitrogen, phosphorus, and potassium from filter cake, filter cake biochar, and sugarcane bagasse ash in a laboratory study. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, 2025. DOI: <https://doi.org/10.57647/IJROWA-2026-17240>.

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

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

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

MANYANGA, M. A.; PISA, C.; MUCHAONYERWA, P. Short-term influence of mixtures of sugarcane filter cake and vermiculite on maize productivity and selected chemical and physical properties in rain-fed sandy soils. **Cogent Food & Agriculture**, v. 12, n. 1, p. 2604335, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2025.2604335>

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

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. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11138/tde-05022014-084900/>. Acesso em: 1 out. 2025.

SILVA, J. H. B.; ALMEIDA, L. J. M.; SILVA, A. V.; ARAÚJO, J. R. E. S.; SANTOS, J. P. O.; SILVA, A. J.; SILVA, C. M.; TARGINO, V. A.; SANTOS, S. C. S.; PESSOA, R. M. S.; ANDRADE, F. H. A.; PEREIRA-NETO, F.; SILVA, B. O. T.; MIELEZRSKI, F. Filter cake increases sugarcane yield. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, e273414, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.273414>.

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**, v. 16, n. 13, p. 5411, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16135411>.

SPERATTI, A. B.; ROMANYÀ, J.; GARCIA-PAUSAS, J.; JOHNSON, M. S. Determining the stability of sugarcane filtercake biochar in soils with contrasting levels of organic matter. **Agriculture**, v. 8, n. 6, p. 71, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture8060071>.

STAKE, R. E. **The art of case study research**. Thousand Oaks: Sage, 1995.

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**, v. 21, e212633, 2024. DOI: <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. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2021.

TESTA, J. V. P.; BATTISTUZZI MARTINS, M.; CARPES MARQUES FILHO, A.;

PEREIRA LANÇAS, K.; LUSTOSA SOBRINHO, R.; FINATTO, T.; OKLA, M. K.; ABDEIGAWAD, H. Continuous and impact cutting in mechanized sugarcane harvest: quality, losses and impurities. **Agriculture**, v. 13, n. 7, p. 1329, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13071329>.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195–219, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1108/01443570210414329>.

YIN, R. K. **Case study research and applications: design and methods**. 6. ed. Thousand Oaks, CA: Sage, 2018.



APÊNDICE – QUESTIONÁRIO

• 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 quê?

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, quais 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 de 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 indicar 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 no 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 o desempenho 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 a finalidade de controle do 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 pelo transporte da torta no setor?

Funcionários do setor Setor ambiental Equipe terceirizada

5.2 Como são realizados 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 da quantidade que é reaproveitada ou descartada?

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