

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**ALICIA MARIA FLORÊNCIO DE SOUZA**

**CARACTERIZAÇÃO E GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA**  
**PRODUÇÃO CERVEJEIRA: POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO DO**  
**BAGAÇO DE MALTE**

**JOÃO PESSOA – PB 2026**

**ALICIA MARIA FLORÊNCIO DE SOUZA**

**CARACTERIZAÇÃO E GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA PRODUÇÃO  
CERVEJEIRA: POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE MALTE**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à  
Coordenação de Engenharia Química do Centro  
de Tecnologia da Universidade Federal da  
Paraíba, em cumprimento aos requisitos para  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Química.

Orientador: Prof. Dr. José Etimógenes Duarte  
Vieira Segundo

**JOÃO PESSOA – PB 2026**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

S729c Souza, Alicia Maria Florencio de.

Caracterização e gestão de resíduos sólidos na produção cervejeira: potencial de reaproveitamento do bagaço de malte / Alicia Maria Florencio de Souza. - João Pessoa, 2026.

41 f. : il.

Orientação: José Etimógenes Duarte Vieira Segundo.  
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. resíduos sólidos. 2. indústria cervejeira. 3. bagaço de malte. 4. gestão ambiental. 5. economia circular. I. Vieira Segundo, José Etimógenes Duarte. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 66.01(043.2)

**ALICIA MARIA FLORÊNCIO DE SOUZA**

**CARACTERIZAÇÃO E GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA PRODUÇÃO  
CERVEJEIRA: POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE MALTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia Química  
do Centro de Tecnologia da Universidade  
Federal da Paraíba, como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Química.

Aprovado em 26 de março de 2026.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. José Etimógenes Duarte Vieira Segundo  
DEQ – UFPB – Orientador

---

Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva  
DEQ – UFPB – Examinador

---

Prof. Dr. Sófacles Figueredo Carreiro Soares  
DEQ – UFPB – Examinador

**"Cada pessoa deve trabalhar para o seu próprio aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, participar da responsabilidade coletiva por toda a humanidade."**

— Marie Curie

## RESUMO

A expansão do setor cervejeiro artesanal no Brasil tem intensificado a necessidade de análise sistemática dos resíduos sólidos gerados ao longo do processo produtivo, sobretudo diante das exigências contemporâneas relacionadas à sustentabilidade e à gestão ambiental responsável. O presente estudo teve como objetivo analisar os resíduos sólidos provenientes da produção de cerveja em uma microcervejaria localizada na região metropolitana de João Pessoa, Paraíba, identificando suas características, formas de manejo e potencial de valorização. A pesquisa adotou abordagem qualitativa, de caráter exploratório e descritivo, estruturada como estudo de caso, articulando observação direta, entrevistas semiestruturadas, análise documental e revisão bibliográfica em bases de dados científicas como Scientific Electronic Library Online (SciELO), Scopus, ScienceDirect e Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Os resultados indicaram geração anual aproximada de 33,2 toneladas de bagaço de malte e 1,5 tonelada de trub, com índice médio de 0,23 kg de bagaço por litro produzido, valor compatível com parâmetros técnicos internacionais. Verificou-se que o bagaço é integralmente destinado à alimentação animal, prática alinhada à hierarquia estabelecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), evitando disposição em aterro e potencial geração de metano sob condições anaeróbias. A análise demonstrou ainda que tanto o bagaço quanto o trub apresentam composição orgânica com potencial de valorização tecnológica e alimentar, embora a empresa ainda não explore plenamente essas possibilidades. Conclui-se que a gestão atual revela alinhamento inicial com princípios de economia circular, porém demanda consolidação de indicadores ambientais quantitativos, formalização documental sistemática e ampliação do controle sobre o trub para fortalecimento da maturidade ambiental do empreendimento.

**Palavras-chave:** resíduos sólidos; indústria cervejeira; bagaço de malte; gestão ambiental; economia circular.

## ABSTRACT

The expansion of the Brazilian craft brewing sector has intensified the need for systematic analysis of solid waste generated throughout the production process, particularly in light of contemporary sustainability and environmental management requirements. This study aimed to analyze the solid waste generated during beer production in a microbrewery located in the metropolitan region of João Pessoa, Paraíba, identifying its characteristics, management practices, and valorization potential. A qualitative, exploratory, and descriptive case study approach was adopted, combining direct observation, semi-structured interviews, document analysis, and bibliographic review in scientific databases such as Scientific Electronic Library Online (SciELO), Scopus, ScienceDirect, and the CAPES Periodicals Portal (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). The results indicated an estimated annual generation of approximately 33.2 tons of brewer's spent grain and 1.5 tons of trub, with an average index of 0.23 kg of spent grain per liter produced, consistent with international technical parameters. The spent grain is fully allocated to animal feed, a practice aligned with the hierarchy established by the Brazilian National Solid Waste Policy (Law No. 12,305/2010), preventing landfill disposal and potential methane generation under anaerobic conditions. The analysis further demonstrated that both spent grain and trub present organic compositions with technological and nutritional valorization potential, although such possibilities are not yet fully explored by the company. It is concluded that current management practices demonstrate initial alignment with circular economy principles; however, consolidation of quantitative environmental indicators, systematic documentation, and enhanced monitoring of trub are required to strengthen the environmental maturity of the enterprise.

**Keywords:** solid waste; brewing industry; brewer's spent grain; environmental management; circular economy.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

APA – *American Pale Ale*

BSG – *Brewers' Spent Grain* (Bagaço de Malte)

BSGF – *Brewers' Spent Grain Fiber* (Fibra de Bagaço de Malte)

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CNPJ – Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

C/N – Relação Carbono/Nitrogênio

DF – Distrito Federal

IPA – *India Pale Ale*

Lager GF – *Lager Gluten-Free* (Lager sem Glúten)

MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária (referente ao registro mencionado)

NBR – Norma Brasileira

PBS – *Polybutylene Succinate* (Succinato de Polibutileno)

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

SciELO – *Scientific Electronic Library Online*

SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente

SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

SUASA – Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Etapas do estudo de caso	17
<b>Figura 2</b> - Grão de malte antes do processo	23
<b>Figura 3</b> - Grão de malte depois do processo	24
<b>Figura 4</b> - Processo de Produção da Cervejaria Philipeia	25

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Insumos por rótulo	22
<b>Quadro 2</b> – Volume anual baseado no volume total de 144.500 Litros/ano	25
<b>Quadro 3</b> – Quantificação anual dos resíduos sólidos gerados	26

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	12
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b>	13
<b>3 METODOLOGIA</b>	15
3.1 Procedimentos metodológicos	16
3.2 Fluxograma	17
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	18
4.1 Resíduos cervejeiros e sustentabilidade produtiva	18
4.2 Caracterização da empresa e do processo produtivo	21
4.3 Quantificação e análise da geração de resíduos sólidos à luz das diretrizes legais	26
4.4 Potencial de valorização e implicações ambientais	31
4.5 Avaliação ambiental da gestão atual	33
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	37
<b>6 REFERÊNCIAS</b>	38

## 1. INTRODUÇÃO

A intensificação das preocupações ambientais nas últimas décadas tem provocado reconfigurações importantes nos sistemas produtivos, especialmente diante da percepção de que a expansão industrial, quando dissociada de práticas responsáveis, tende a ampliar pressões sobre os recursos naturais e sobre os sistemas urbanos de manejo de resíduos sólidos, circunstância que exige reorganização técnica e gerencial por parte das organizações (Oliveira, 2024).

Nesse sentido, a gestão ambiental passa a ocupar posição estratégica no planejamento empresarial, pois, conforme assinala Cucolo (2021), a adoção de princípios de produção mais limpa no setor cervejeiro artesanal contribui para reduzir desperdícios, fortalecer a imagem institucional e alinhar a atividade econômica às demandas contemporâneas por sustentabilidade.

No cenário brasileiro, o crescimento do mercado de cervejas artesanais evidencia transformações no comportamento do consumidor e na própria estrutura do setor de bebidas, indicando uma valorização progressiva de produtos com identidade regional e maior valor agregado, movimento que, contudo, implica aumento proporcional na geração de resíduos oriundos do processo produtivo (Bonato, 2016). Diante dessa afirmação, pode-se afirmar que a ampliação da atividade cervejeira demanda a implementação de sistemas de gerenciamento capazes de mitigar impactos ambientais e promover maior racionalidade no uso de matérias-primas, pois a ausência de planejamento tende a intensificar passivos ambientais e operacionais (Salviano *et al.*, 2022).

Portanto, sob essa perspectiva, é inegável que a análise dos resíduos sólidos gerados na produção de cerveja artesanal em João Pessoa constitui temática de elevada pertinência acadêmica e social, pois permite compreender como práticas ambientais se materializam no cotidiano produtivo e quais caminhos se mostram mais promissores para o aprimoramento da gestão sustentável (Diniz, 2024).

Posto isso, o presente trabalho direciona sua atenção para a investigação desses resíduos em uma cervejaria artesanal localizada no município, buscando identificar tipologias, formas de manejo e possibilidades de destinação ambientalmente adequadas, considerando que iniciativas dessa natureza tendem a contribuir para o fortalecimento de modelos produtivos mais responsáveis e alinhados às exigências contemporâneas.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

A gestão de resíduos sólidos no âmbito industrial é apontada por Oliveira (2024) como um fator determinante para a eficiência operacional e a continuidade dos processos produtivos, superando a visão estritamente normativa da sustentabilidade. Esse cenário é particularmente relevante em nichos como o de microcervejarias, onde a articulação entre competitividade e estratégias ambientais promove um modelo de negócio resiliente. Para Cucolo (2021), essa convergência entre o operacional e o ecológico é o que sustenta o compromisso do setor com o desenvolvimento sustentável.

Quando essa discussão se desloca para o contexto nordestino, percebe-se que a expansão das microcervejarias acompanha o dinamismo econômico das capitais litorâneas, particularmente em cidades com forte vocação turística, nas quais a diversificação do setor gastronômico contribui para a consolidação de novos nichos de mercado (Costa, 2025). João Pessoa insere-se nesse panorama apresentando crescimento gradual da produção artesanal, circunstância que amplia a relevância do debate ambiental, sobretudo em razão da necessidade de compatibilizar desenvolvimento urbano, preservação dos ecossistemas costeiros e gestão eficiente dos resíduos gerados pelas atividades produtivas (Diniz, 2024).

Conforme assinala Diniz (2024), a avaliação do ciclo de vida da cerveja artesanal produzida em João Pessoa permite identificar etapas críticas relacionadas ao consumo de insumos, à demanda energética e à geração de subprodutos, evidenciando que intervenções planejadas tendem a reduzir impactos ambientais e aprimorar o desempenho produtivo. Sendo assim, compreender a dinâmica local dos resíduos sólidos representa movimento essencial para o fortalecimento de práticas empresariais ambientalmente orientadas, pois a análise territorializada possibilita reconhecer especificidades operacionais frequentemente invisibilizadas em abordagens generalistas (Costa, 2025).

Entre os resíduos oriundos da produção cervejeira, o bagaço de malte destaca-se pelo volume expressivo, constituindo o principal subproduto do processo de fabricação e exigindo destinação ambientalmente adequada para evitar sobrecarga nos sistemas de manejo (Tombini *et al.*, 2022). Pois, de acordo com Tombini *et al.* (2022), esse material apresenta elevada concentração de fibras e proteínas,

característica que amplia suas possibilidades de reaproveitamento e favorece soluções alinhadas à economia circular.

É bem como pontua Verde (2019), a utilização do bagaço de malte na alimentação animal revela alternativa tecnicamente viável e ambientalmente favorável, pois reduz o volume descartado e promove integração entre diferentes cadeias produtivas. Com isso, observa-se que práticas de valorização de resíduos contribuem para transformar passivos ambientais em recursos economicamente úteis, fortalecendo modelos produtivos mais eficientes (Verde, 2019).

Nesse mesmo horizonte, alternativas tecnológicas vêm ampliando as possibilidades de reinserção desses subprodutos no ciclo econômico, indicando que a inovação pode atuar como vetor de sustentabilidade no setor cervejeiro. Conforme assinala Alves (2023), o reaproveitamento do resíduo cervejeiro no cultivo de microalgas configura abordagem sustentável capaz de converter materiais residuais em insumos estratégicos, favorecendo processos produtivos mais regenerativos.

De modo convergente, Sousa (2025) evidencia a viabilidade da produção de biofertilizantes a partir de resíduos cervejeiros, destacando que soluções dessa natureza contribuem para a redução da dependência de fertilizantes sintéticos e estimulam práticas agrícolas ambientalmente equilibradas. Diante dessa afirmação, percebe-se que a gestão adequada dos subprodutos não se restringe ao ambiente industrial, alcançando setores diversos e promovendo benefícios de caráter econômico e ecológico (Sousa, 2025).

Ainda sob essa lógica, Salviano *et al.* (2022) destacam que a gestão ambiental na cadeia cervejeira deve ser compreendida como processo contínuo, estruturado por diagnósticos precisos e por mecanismos de monitoramento capazes de orientar decisões organizacionais. Assim, organizações que incorporam planejamento ambiental tendem a apresentar maior previsibilidade operacional e menor exposição a riscos, consolidando práticas gerenciais mais consistentes (Salviano *et al.*, 2022).

Esse debate torna-se particularmente relevante no contexto das microcervejarias, nas quais a proximidade entre produção e território evidencia a necessidade de responsabilidade ambiental compatível com as demandas locais. Conforme assinala Oliveira (2024), a integração entre setores econômicos por meio do reaproveitamento de resíduos fortalece redes cooperativas e estimula uma circulação mais inteligente de recursos, contribuindo para a construção de sistemas produtivos menos desperdiçadores.

### 3.METODOLOGIA

A presente pesquisa estrutura-se a partir de uma abordagem qualitativa, assumindo caráter exploratório e descritivo, orientada pela intenção de compreender de forma aprofundada a dinâmica de geração e gestão dos resíduos sólidos provenientes da produção cervejeira. Tal direcionamento metodológico mostra-se adequado diante da complexidade que envolve os processos industriais contemporâneos, nos quais aspectos técnicos, ambientais e organizacionais se entrelaçam, exigindo uma leitura analítica capaz de ultrapassar interpretações meramente quantitativas.

O estudo fundamenta-se no método de estudo de caso, compreendido como estratégia investigativa particularmente pertinente quando se busca examinar fenômenos inseridos em contextos reais e cujos limites entre objeto e ambiente não se apresentam claramente definidos, conforme descreve Yin (2015). A escolha por esse delineamento decorre da necessidade de observar, interpretar e analisar as práticas de gerenciamento de resíduos em uma cervejaria situada no município de Cabedelo, Paraíba, considerando suas especificidades operacionais, estruturais e ambientais.

Conforme assinala Bonato (2016), o estudo de caso possibilita examinar detalhadamente os processos internos das organizações, favorecendo a identificação de práticas consolidadas, fragilidades operacionais e oportunidades de aprimoramento no gerenciamento de subprodutos industriais. Tal perspectiva torna-se especialmente relevante no setor cervejeiro artesanal, marcado por processos produtivos particulares e por desafios crescentes relacionados à sustentabilidade e ao uso responsável dos recursos.

Além da investigação empírica, a pesquisa incorpora uma revisão teórica com o propósito de oferecer sustentação conceitual à análise desenvolvida. Essa etapa mostrou-se necessária para compreender o estado atual das discussões científicas acerca da gestão de resíduos industriais, do reaproveitamento de subprodutos e das estratégias associadas à sustentabilidade produtiva, permitindo situar o objeto investigado dentro de um panorama científico mais amplo.

A revisão foi conduzida por meio de levantamento bibliográfico em bases de dados reconhecidas pela relevância acadêmica e pela confiabilidade das publicações indexadas. Foram consultadas as plataformas SciELO (*Scientific Electronic Library*

*Online*), Google Scholar, Periódicos CAPES, ScienceDirect e Scopus, além de repositórios institucionais de universidades brasileiras, priorizando materiais com aderência temática ao campo da gestão ambiental, resíduos industriais e reaproveitamento do bagaço de malte.

Para a busca dos estudos, utilizaram-se como descritores as seguintes palavras-chave, em português e inglês: “resíduos sólidos”, “indústria cervejeira”, “bagaço de malte”, “reaproveitamento de resíduos”, “gestão ambiental”, “sustentabilidade industrial”, “brewery waste”, “spent grain” e “waste management”. A seleção do material considerou critérios de pertinência temática, atualidade e rigor científico, privilegiando dissertações, teses e artigos publicados em periódicos especializados.

### 3.1 Procedimentos metodológicos

A coleta de dados ocorreu por meio de múltiplas fontes de evidência, estratégia que contribui para o fortalecimento da consistência analítica da investigação. Foram realizadas observações diretas nas instalações da cervejaria, possibilitando o reconhecimento das etapas produtivas e dos pontos de geração de resíduos, bem como a compreensão das rotinas relacionadas ao armazenamento, manejo e destinação desses materiais.

De maneira complementar, se procedeu à análise documental de registros internos disponibilizados pela empresa, incluindo dados de produção e informações relacionadas ao gerenciamento dos subprodutos. A articulação entre observação direta, dados coletados e revisão da literatura configura uma triangulação metodológica que amplia a confiabilidade dos achados, conforme recomenda Yin (2015).

Para o tratamento das informações, adotou-se a técnica de análise de conteúdo, entendida como um conjunto de procedimentos sistemáticos voltados à interpretação de dados qualitativos. Conforme Bardin (2011), essa técnica permite identificar regularidades, construir categorias analíticas e produzir inferências consistentes a partir do material examinado, favorecendo uma compreensão mais aprofundada do fenômeno investigado.

### 3.2 Fluxograma

**Figura 1** - Etapas do estudo de caso.



**Fonte:** Elaboração própria (2026).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Resíduos cervejeiros e sustentabilidade produtiva

A discussão acerca da gestão de resíduos sólidos insere-se em um campo teórico marcado pela crescente preocupação com a sustentabilidade dos sistemas produtivos, especialmente diante da constatação de que atividades industriais, quando desprovidas de planejamento ambiental, tendem a intensificar pressões sobre os recursos naturais e os mecanismos urbanos de tratamento e disposição final de rejeitos (Tombini *et al.*, 2022). No estudo de Tombini *et al.* (2022)

Observou-se que a gestão desse resíduo se apresenta direcionada 100% à alimentação animal. Embora se produza em grandes quantidades, as indústrias têm conseguido realizar a destinação desses resíduos, sem necessitar da deposição em aterro sanitário. Ainda, o bagaço na maioria das vezes é doado aos produtores (57,1%) e não há margem de lucro para as indústrias, porém, é conveniente buscar opções que tragam algum retorno financeiro, visto que o bagaço de malte apresenta características nutricionais interessantes para finalidades mais nobres. Percebe-se que esse gerenciamento leva em conta aspectos econômicos, sustentáveis e de interesse pessoal, sendo que os entrevistados se mostram preocupados e apresentam ações para melhoria do atual sistema de gestão do bagaço de malte (Tombini *et al.*, 2022, p. 562).

Nesse sentido, a indústria cervejeira artesanal passa a demandar modelos organizacionais capazes de integrar eficiência produtiva e responsabilidade ecológica, pois, conforme assinala Rebelo *et al.* (2010), a gestão ambiental configura instrumento fundamental para minimizar impactos decorrentes da fabricação e fortalecer práticas empresariais alinhadas às exigências contemporâneas.

Sob essa perspectiva, a geração de resíduos na cadeia cervejeira deve ser compreendida como fenômeno inerente ao processo de produção, resultante da transformação de matérias-primas em diferentes etapas operacionais que culminam na formação de subprodutos com elevado potencial de reaproveitamento (Gomes *et al.*, 2025). Conforme às ressalvas de Gomes *et al.* (2025), propostas estruturadas de reutilização do bagaço de malte contribuem para a redução do volume descartado e favorecem uma lógica produtiva mais eficiente, indicando que a valorização desses materiais pode converter passivos ambientais em ativos econômicos, pois

O bagaço de malte é um resíduo produzido em grande quantidade pela indústria cervejeira. Trata-se de um subproduto que apresenta grandes quantidades de nutrientes, como fibras, proteínas e compostos bioativos. No geral, é um resíduo destinado para aterros sanitários e/ou compostagem.

Entretanto, este insumo possui potencial para utilização em novos produtos (Sousa, 2025, p. 1).

Entre os resíduos mais representativos, destaca-se o bagaço de malte, caracterizado por sua composição rica em fibras, proteínas e compostos bioativos, elementos que ampliam suas possibilidades de reinserção em diferentes cadeias produtivas (Santiago, 2023). Conforme assinala Santiago (2023), a extração de substâncias bioativas por meio de técnicas inovadoras evidencia o potencial tecnológico desse subproduto, reforçando a ideia de que a inovação científica pode atuar como vetor de sustentabilidade no setor cervejeiro.

Nesse horizonte, o aproveitamento do bagaço de malte ultrapassa aplicações tradicionais, alcançando o setor alimentício como alternativa nutricionalmente relevante e tecnologicamente viável (Domingues; Kameyama, 2022). Pois, de acordo com Domingues e Kameyama (2022), a incorporação desse resíduo na panificação apresenta resultados positivos em termos nutricionais e sensoriais, circunstância que sugere a possibilidade de ampliação do uso desse material em produtos destinados ao consumo humano.

Muitos estudos abordam a aplicação do bagaço de malte na panificação, pelo incremento de fibras, proteínas e açúcares, fabricando assim pães, biscoitos e cookies com maior valor nutritivo e funcional. O acréscimo do resíduo cervejeiro, sendo este aplicado seco e triturado, ou úmido, impacta devido ao alto teor de fibras, na diminuição do volume, aumento na dureza do miolo, perda de crocância, estrutura densa do grão do miolo e expansão reduzida (Domingues; Kameyama, 2022, p. 5).

De modo convergente, Melo (2024) destaca que a utilização do bagaço de malte na produção de alimentos representa estratégia promissora para reduzir desperdícios e promover maior aproveitamento dos recursos gerados pela indústria cervejeira. Diante dessa afirmação, percebe-se que práticas orientadas pela reutilização tendem a fortalecer modelos produtivos mais sustentáveis, ao mesmo tempo em que estimulam a inovação no desenvolvimento de novos produtos alimentícios (Melo, 2024).

Além das aplicações no setor alimentício, a compostagem surge como alternativa ambientalmente adequada para o tratamento dos resíduos cervejeiros, permitindo sua conversão em insumos agrícolas capazes de melhorar a qualidade do solo (Malta, 2021). Conforme observa Malta (2021), o reaproveitamento do bagaço por meio da compostagem favorece o fechamento de ciclos produtivos e contribui para

a redução da quantidade de material encaminhado a aterros, reforçando princípios associados à economia circular, pois

A compostagem do bagaço de malte com restos de capina demonstrou ser uma alternativa viável para a produção de composto orgânico de qualidade. Os resultados obtidos indicaram que o composto final atendeu aos parâmetros exigidos pela legislação brasileira para comercialização, apresentando teores adequados de pH, carbono orgânico total, nitrogênio total e relação C/N. Além disso, os bioensaios realizados com as plantas Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), Salsa-lisa (*Petroselinum crispum*) e Milho (*Zea mays*) evidenciaram que a aplicação do composto orgânico no solo estimulou o crescimento das plantas, principalmente da parte aérea, sem diferenças significativas em relação ao controle positivo. Esses resultados reforçam o potencial do bagaço de malte como matéria-prima para a produção de compostos orgânicos, promovendo a sustentabilidade e a economia circular na indústria cervejeira artesanal (Malta; Cury, 2021, p. 90).

Ainda sob essa lógica, observa-se que a diversificação das possibilidades de reaproveitamento amplia a relevância econômica desses subprodutos, estimulando arranjos produtivos mais integrados e menos dependentes de matérias-primas convencionais. Conforme assinala Nascimento (2020), a utilização do bagaço de malte na fabricação de gelatos demonstra viabilidade técnica e potencial inovador, indicando que soluções criativas podem emergir da articulação entre ciência, tecnologia e sustentabilidade.

No âmbito da gestão organizacional, torna-se evidente que a adoção de políticas ambientais estruturadas depende da capacidade das empresas de reconhecer os resíduos como elementos estratégicos do processo produtivo, e não como meros descartes inevitáveis (Tombini *et al.*, 2022). Pois, de acordo com Tombini *et al.* (2022), diagnósticos precisos acerca da geração e destinação dos resíduos favorecem decisões mais consistentes e contribuem para o aprimoramento contínuo das práticas industriais.

Essa compreensão também dialoga com a necessidade de fortalecimento da cultura ambiental nas organizações, visto que a incorporação de práticas sustentáveis tende a produzir efeitos positivos tanto na eficiência operacional quanto na reputação institucional. Nesse sentido, empresas que estruturam seus processos com base em diretrizes ambientais demonstram maior capacidade de adaptação às demandas regulatórias e sociais, consolidando posicionamento mais competitivo no mercado (Rebelo *et al.*, 2010).

Quando se observa o avanço das tecnologias aplicadas ao reaproveitamento de resíduos cervejeiros, percebe-se a emergência de um paradigma produtivo orientado pela circularidade, no qual materiais anteriormente descartados passam a ser reintegrados ao ciclo econômico (Santiago, 2023). Assim, a sustentabilidade deixa de ser compreendida como ideal abstrato e passa a materializar-se em práticas concretas, capazes de redefinir a relação entre produção industrial e meio ambiente (Gomes, 2025).

Diante desse cenário, pode-se afirmar que a gestão dos resíduos sólidos na produção cervejeira constitui dimensão estratégica para o equilíbrio entre crescimento econômico e preservação ambiental, exigindo abordagens teóricas que considerem simultaneamente aspectos tecnológicos, organizacionais e ecológicos (Malta, 2021). Posto isso, a articulação entre reaproveitamento, inovação e planejamento ambiental revela-se fundamental para a construção de sistemas produtivos mais resilientes e compatíveis com as exigências do desenvolvimento sustentável (Melo, 2024).

Portanto, sob essa perspectiva, a compreensão teórica acerca dos resíduos gerados pela indústria cervejeira artesanal oferece base analítica indispensável para investigações que busquem interpretar práticas de manejo e identificar oportunidades de aprimoramento ambiental, sobretudo em contextos nos quais a expansão do setor exige respostas cada vez mais qualificadas do ponto de vista técnico e gerencial (Domingues; Kameyama, 2022).

#### 4.2 Caracterização da empresa e do processo produtivo

A PHILIFEIA Indústria de Cerveja LTDA constitui empreendimento do setor cervejeiro artesanal localizado no município de Cabedelo, Paraíba, registrado sob CNPJ nº 32.381.416/0001-93, atuando formalmente na fabricação de bebidas alcoólicas fermentadas e destiladas. A empresa completa seis anos de funcionamento no presente ano, consolidando-se no cenário regional como produtora de cervejas artesanais e, adicionalmente, de destilados como gin e vodka, o que amplia seu escopo produtivo e sua diversidade de processos industriais envolvidos.

No que se refere à capacidade produtiva, a cervejaria apresenta volume anual de aproximadamente 144.500 litros de cerveja, distribuídos entre diferentes estilos, o que posiciona a empresa dentro da categoria de microcervejaria,

caracterizada por escalas menores de produção quando comparadas às grandes indústrias do setor, porém com maior diversidade de formulações e maior variabilidade nas receitas empregadas.

Entre os principais rótulos produzidos destacam-se a Pilsen, responsável por cerca de 77,5% do volume anual, seguida pela All Day IPA, Lager Lugui, Juicy IPA, Lager GF, APA, Red Ale, Hop Lager, Jampa 440 anos, Witbier e Session IPA. Observa-se que, embora a Pilsen concentre a maior fração do volume produzido, rótulos do tipo IPA apresentam maior consumo proporcional de lúpulo, o que repercute diretamente na geração de determinados resíduos sólidos, sobretudo o trub de lúpulo.

**Quadro 1-** Insumos por rótulos

<b>Estilo</b>	<b>Volume Total (L)</b>	<b>Malte (kg)</b>	<b>Lúpulo (kg)</b>	<b>% do Volume</b>
<b>Pilsen</b>	112.000	18.368	112,0	77,5%
<b>All Day IPA</b>	14.000	3.500	70,0	9,7%
<b>Lager Lugui</b>	7.000	1.148	7,0	4,8%
<b>Juicy IPA</b>	4.000	1.200	20,0	2,8%
<b>Lager GF</b>	4.000	800	20,0	2,8%
<b>APA</b>	3.000	600	15,0	2,1%
<b>Red Ale</b>	1.500	285	1,5	1,0%
<b>Hop Lager</b>	1.000	200	3,0	0,7%
<b>Jampa 440 anos</b>	1.000	300	5,0	0,7%
<b>Witbier</b>	500	100	0,5	0,3%
<b>Session IPA</b>	500	100	2,0	0,3%

**Fonte:** Elaboração própria com base nos dados da empresa (2026).

O processo produtivo cervejeiro desenvolvido pela empresa segue as etapas clássicas da tecnologia cervejeira. Inicialmente ocorre a moagem do malte, etapa que visa aumentar a área de contato do grão e favorecer a extração de compostos solúveis.

**Figura 1-** Grão de malte antes do processo



**Fonte:** Registro próprio (2026).

Em seguida realiza-se a mosturação, na qual enzimas presentes no malte promovem a conversão de amidos em açúcares fermentescíveis sob condições controladas de temperatura e pH.

Posteriormente ocorre a filtração do mosto, etapa responsável pela separação do líquido açucarado do resíduo sólido conhecido como bagaço de malte. Na sequência procede-se à fervura com adição de lúpulo, promovendo esterilização, isomerização de alfa-ácidos e desenvolvimento de características sensoriais. Após a etapa de *whirlpool*, onde ocorre a sedimentação de partículas sólidas e formação do trub, o mosto é resfriado e encaminhado à fermentação, etapa na qual leveduras convertem açúcares em etanol e dióxido de carbono.

**Figura 2-** Grão de malte depois do processo



**Fonte:** Registro próprio (2026).

Finalizada a fermentação, seguem-se maturação, filtração quando aplicável, envase e armazenamento. A fim de sintetizar tal processo, foi inserida a figura 3 abaixo

Figura 4- Processo de Produção da Cervejaria Philipeia



**Fonte:** Elaboração própria com base nos dados fornecidos pela empresa (2026).

A partir desse encadeamento operacional observa-se que a geração de resíduos sólidos se encontra diretamente associada às etapas de mosturação e fervura, nas quais se originam, respectivamente, o bagaço de malte e o trub. Considerando o volume anual produzido, estima-se a geração de aproximadamente 33.251 kg de bagaço úmido por ano e 1.536 kg de trub, evidenciando a relação direta entre escala produtiva e carga residual.

**Quadro 2-** Volume anual baseado no volume total de 144.500 Litros/ano.

Período	Volume de Cerveja (L)	Malte Total (kg)	Lúpulo Total (kg)	Bagaço Úmido (kg) <sup>1</sup>	Trub (kg) <sup>2</sup>
<b>TOTAL ANUAL</b>	<b>144.500</b>	<b>26.601</b>	<b>256,0</b>	<b>33.251</b>	<b>1.536</b>
<b>MÉDIA MENSAL</b>	12.041	2.216	21,3	2.771	128

**Fonte:** Elaboração própria com base nos dados da empresa (2026).

<sup>1</sup> Estimativa de bagaço úmido (1.25x o peso do malte seco).

<sup>2</sup> Estimativa de trub úmido (6x o peso do lúpulo seco).

Obs: as estimativas são feitas pela empresa com base no guia de tecnologia cervejeira do Instituto da cerveja brasil.

Sob o ponto de vista técnico, a escala de produção influencia proporcionalmente a massa de resíduos gerados, porém o setor artesanal apresenta particularidades relevantes. Diferentemente das grandes indústrias, que operam com elevado grau de automação, otimização térmica e recuperação energética,

microcervejarias tendem a apresentar maior variabilidade nas receitas, menor padronização de processos e maior dependência de ajustes manuais, fatores que podem impactar a eficiência global do aproveitamento de insumos. Por outro lado, a escala reduzida favorece maior controle individualizado das etapas produtivas e maior flexibilidade na adoção de práticas sustentáveis, como a destinação integral do bagaço para alimentação animal.

Quando comparada à produção industrial de grande porte, a produção artesanal geralmente apresenta menor eficiência em termos de recuperação de energia térmica e reaproveitamento interno de subprodutos, entretanto tende a demonstrar maior proximidade com cadeias locais de reaproveitamento, fortalecendo arranjos regionais de economia circular. Assim, a caracterização da PHILIFEIA permite compreender como a estrutura produtiva, a diversidade de estilos e a escala operacional interferem diretamente na geração de resíduos sólidos e nas estratégias de gestão adotadas, constituindo base fundamental para a análise ambiental desenvolvida nos tópicos subsequentes.

#### 4.3 Quantificação e análise da geração de resíduos sólidos à luz das diretrizes legais

A quantificação dos resíduos sólidos gerados na PHILIFEIA Indústria de Cerveja LTDA deve ser interpretada em consonância com os marcos normativos que orientam a gestão ambiental no Brasil, especialmente a Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. A produção anual de 144.500 litros de cerveja, associada ao consumo de 26.601 kg de malte e 256 kg de lúpulo, resulta na geração estimada de 33.251 kg de bagaço de malte e 1.536 kg de trub de lúpulo ao longo do ano, volumes que exigem enquadramento técnico conforme os princípios legais de prevenção, redução e reaproveitamento, conforme mostra o quadro abaixo.

**Quadro 3**– Avaliação anual dos resíduos sólidos gerados

Resíduo	Massa anual (kg)	Índice por litro (kg/L)	Classificação	Destinação
Bagaço de malte	33.251	0,23	Classe II A	Alimentação animal ( doação)
Trub	1.536	0,01	Classe II A	Descarte/Efluente
Levedura residual	Não informado	Não informado	Classe II A	Descarte/Efluente

**Fonte:** Elaboração própria com base nos dados da empresa (2026).

A simples destinação para descarte não representa solução preferencial, sendo imperativo que as organizações busquem alternativas que preservem o valor material do resíduo. Nesse contexto, o bagaço de malte gerado na produção cervejeira enquadra-se como resíduo com potencial de reutilização, uma vez que não se caracteriza como rejeito, pois mantém valor econômico e possibilidade técnica de reinserção produtiva.

A própria definição legal reforça essa distinção. O artigo 3º da mesma norma estabelece:

Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido (...) (Brasil, 2010, s/p).

Ao mesmo tempo, diferencia rejeito como aquele “que, após esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresente outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (Brasil, 2010, s/p).

A partir dessa distinção, verifica-se que o bagaço de malte da PHILIFEIA, integralmente destinado à alimentação animal, não pode ser classificado como rejeito, pois mantém aproveitamento produtivo contínuo, alinhando-se à hierarquia legal estabelecida.

No que concerne à classificação técnica, a ABNT NBR 10004:2004 define critérios para enquadramento de resíduos quanto ao risco ambiental, estabelecendo: “Os resíduos são classificados, quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, em: Classe I – Perigosos; Classe II – Não perigosos, sendo subdivididos em Classe II A – Não inertes e Classe II B – Inertes” (ABNT, 2004, s/p).

Considerando sua composição predominantemente orgânica, elevada umidade, presença de fibras estruturais, proteínas residuais e ausência de contaminantes classificados como perigosos em condições usuais de produção cervejeira, o bagaço de malte tende a enquadrar-se como resíduo Classe II A, não inerte, conforme critérios estabelecidos pela ABNT NBR 10004:2004.

A referida norma dispõe que os resíduos Classe II A são aqueles que “podem apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água” (ABNT, 2004, s/p), característica compatível com a natureza do bagaço, cuja fração orgânica é suscetível à degradação biológica. Tal enquadramento técnico reforça a possibilidade de reaproveitamento mediante manejo adequado, afastando a necessidade de disposição como rejeito, desde que asseguradas condições sanitárias e ambientais apropriadas.

No que concerne às exigências relacionadas ao controle e inventário de resíduos industriais, a Resolução CONAMA nº 313/2002 estabelece diretrizes claras quanto à responsabilidade dos empreendimentos. Conforme disposto em seu artigo 2º, os geradores de resíduos industriais devem elaborar e disponibilizar inventário contendo informações sobre a natureza, a quantidade e a destinação dos resíduos produzidos. O texto normativo determina que:

Os geradores de resíduos sólidos industriais deverão elaborar e manter atualizado inventário contendo informações quantitativas e qualitativas sobre os resíduos gerados, armazenados, transportados, reutilizados, reciclados, tratados ou destinados à disposição final (CONAMA, 2002, s/p).

Evidencia-se pelo excerto que a quantificação anual estimada de aproximadamente 33,2 toneladas de bagaço de malte e 1,5 tonelada de trub não constitui mera informação estatística, mas requisito essencial para atendimento às obrigações ambientais. A mensuração sistemática desses volumes possibilita planejamento logístico, avaliação da capacidade de armazenamento temporário e análise de alternativas de valorização, além de permitir rastreabilidade da destinação final.

Sob a perspectiva da eficiência produtiva, o índice aproximado de 0,23 kg de bagaço por litro de cerveja produzida revela coerência com parâmetros técnicos descritos para o setor cervejeiro artesanal, nos quais a formação de bagaço decorre da própria estrutura física do malte e da limitação de extração completa de seus

constituintes. Durante a mosturação, apenas frações solúveis, sobretudo açúcares fermentescíveis resultantes da hidrólise enzimática do amido, são incorporadas ao mosto, permanecendo no resíduo frações insolúveis constituídas majoritariamente por celulose, hemicelulose, lignina e proteínas estruturais.

A análise quantitativa, portanto, não indica desperdício excessivo de matéria-prima, mas confirma a inevitabilidade técnica da formação de subprodutos sólidos no processo cervejeiro. Tal constatação encontra respaldo nos princípios estabelecidos na Política Nacional de Resíduos Sólidos. O artigo 6º da Lei nº 12.305/2010 dispõe expressamente:

São princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

- 4.3.1 – a prevenção e a precaução;
- 4.3.2 – o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;
- 4.3.3 – a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;
- 4.3.4 – o desenvolvimento sustentável;
- 4.3.5 – a ecoeficiência;
- 4.3.6 – a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;
- 4.3.7 – a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (Brasil, 2010, s/p).

Essa previsão normativa evidencia que a gestão de resíduos não se limita à destinação final, mas deve integrar planejamento preventivo, racionalização de recursos e responsabilidade compartilhada ao longo de todo o ciclo produtivo. No contexto da produção cervejeira, tal diretriz reforça que a geração de bagaço de malte deve ser acompanhada de estratégias que assegurem reaproveitamento ambientalmente adequado e controle contínuo de impactos.

Além disso, o artigo 9º da mesma lei estabelece a hierarquia obrigatória na gestão dos resíduos, determinando que:

Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (Brasil, 2010, s/p).

Essa determinação jurídica é central para a análise do caso estudado, pois evidencia que a reutilização deve preceder a disposição final. Nesse sentido, a

destinação integral do bagaço de malte para alimentação animal demonstra alinhamento com a ordem de prioridade legal, uma vez que promove reaproveitamento material e evita que o resíduo seja encaminhado a aterros sanitários.

Quanto à necessidade de monitoramento e controle, a própria Política Nacional de Resíduos Sólidos institui instrumentos formais destinados a assegurar rastreabilidade e responsabilidade técnica na gestão de resíduos. Entre esses instrumentos destaca-se o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, cuja obrigatoriedade encontra-se expressamente prevista no artigo 20 da Lei nº 12.305/2010, que dispõe:

Estão sujeitos à elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos: I – os geradores de resíduos sólidos previstos nas alíneas ‘e’, ‘f’, ‘g’ e ‘h’ do inciso I do art. 13;

Ainda no mesmo dispositivo legal, a norma estabelece o conteúdo mínimo que deve compor o referido plano, evidenciando que o controle documental deve abranger diagnóstico quantitativo e descrição detalhada das etapas de manejo. Nesse sentido, o legislador determina:

O plano de gerenciamento de resíduos sólidos tem o seguinte conteúdo mínimo:

- I – descrição do empreendimento ou atividade;
- II – diagnóstico dos resíduos sólidos gerados ou administrados, contendo a origem, o volume e a caracterização dos resíduos;
- III – observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa e, se houver, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos:
  - a) explicitação dos responsáveis por cada etapa do gerenciamento de resíduos sólidos;
  - b) definição dos procedimentos operacionais relativos às etapas do gerenciamento de resíduos sólidos sob responsabilidade do gerador (Brasil, 2010, s/p).

Percebe-se pelo trecho supracitado que a obrigatoriedade de descrição da origem, do volume e da caracterização dos resíduos impõe ao empreendimento a manutenção de registros atualizados e tecnicamente fundamentados, sobretudo considerando a natureza orgânica do bagaço e sua elevada suscetibilidade à degradação microbiológica.

Assim, a conformidade ambiental não se limita à destinação final adequada, mas pressupõe gestão estruturada, controle documental contínuo e avaliação sistemática das etapas de armazenamento, transporte e reaproveitamento, assegurando que o crescimento produtivo permaneça alinhado aos princípios da prevenção e da responsabilidade compartilhada previstos na legislação brasileira.

#### 4.4 Potencial de valorização e implicações ambientais

O bagaço de malte deve ser compreendido, sob perspectiva técnico-química, como consequência estrutural do processo de mosturação. A geração de bagaço não decorre de ineficiência operacional, mas da própria seletividade do processo de extração do mosto, uma vez que a literatura recente indica que o bagaço corresponde ao principal fluxo sólido do setor, com geração típica em torno de 20 kg de bagaço úmido por 100 L de cerveja (Kalak, 2025) e com variações dependentes do estilo, da gravidade e da tecnologia empregada (Dancker *et al.*, 2025), havendo registros de faixas aproximadas de 20 a 22 kg por hectolitro em sínteses recentes (Fernandes *et al.*, 2025).

Desse modo, quando se relaciona esse parâmetro com a estimativa anual de 33,2 toneladas de bagaço na PHILIPEIA e o índice calculado de 0,23 kg/L ( $\approx 23$  kg/100 L), observa-se compatibilidade com a ordem de grandeza reportada, sobretudo considerando oscilações esperadas em produções artesanais conforme o perfil de estilos fabricados (Dancker *et al.*, 2025; Fernandes *et al.*, 2025; Kalak, 2025).

Contudo, a análise não deve limitar-se ao aspecto volumétrico. A composição química do BSG, predominantemente formada por celulose, hemicelulose, lignina residual, proteínas e compostos fenólicos, amplia suas possibilidades tecnológicas. Kalak (2025, p. 1, tradução nossa) ressalta que:

De modo geral, o BSG emerge como um biossorvente confiável e escalável, cujos descritores derivados de microscopia eletrônica de varredura oferecem ferramentas práticas para previsão de desempenho, enquanto métodos espectroscópicos e térmicos apoiam o monitoramento do material e sua integração nos processos da economia circular de uma cervejaria.

Do ponto de vista da Química, se evidencia que a estrutura porosa e a composição lignocelulósica do material permitem interações adsorptivas, possibilitando aplicações como

biossorvente para remoção de contaminantes metálicos ou orgânicos. Sob essa ótica, o bagaço produzido pela PHILIFEIA, embora atualmente destinado integralmente à alimentação animal, apresenta potencial latente para inserção em cadeias de maior valor agregado, especialmente se associada a parcerias acadêmicas ou centros de pesquisa.

No campo da química de compostos bioativos, Santiago, Fernandes e Santiago-Aguiar (2025, p. 22603, tradução nossa) afirmam que “os bagaços de malte apresentam elevado valor nutricional e constituem fonte de compostos bioativos, indicando que esse resíduo pode ser reutilizado para a produção de produtos de alto valor agregado com aplicações industriais”, revelando que o BSG contém polifenóis, antioxidantes e frações proteicas que podem ser extraídos por técnicas como extração assistida por ultrassom ou solventes eutéticos profundos, ampliando sua aplicabilidade para a indústria alimentícia, farmacêutica ou cosmética. No contexto da PHILIFEIA, cuja produção inclui também destilados (gin e vodka), observa-se perfil empresarial com abertura à diversificação tecnológica, o que poderia favorecer, em médio prazo, estratégias de integração produtiva orientadas à valorização química do resíduo.

Além disso, no setor alimentício, Neira Monsalve et al. (2025, p. 4053, tradução nossa) demonstram que:

De modo geral, a fração líquida do BSG pode ser reaproveitada com sucesso para criar uma bebida mista de morango microbiologicamente estável e sensorialmente atrativa, com forte potencial para as indústrias alimentícia e gastronômica.

O que indica que mesmo após a extração do mosto, permanecem frações solúveis com valor tecnológico significativo. Para a PHILIFEIA, isso aponta que o reaproveitamento não precisa restringir-se à destinação externa, podendo futuramente integrar processos internos de inovação, reforçando posicionamento sustentável da marca.

No campo dos materiais sustentáveis, Visco *et al.* (2025, p.1, tradução nossa) evidenciam que “este estudo demonstra o potencial do BSG como matéria-prima valiosa para a produção de biocompósitos em escala industrial”, complementando que “como demonstração prática dos princípios da economia circular, foram produzidos vasos para plantas confeccionados com PBS-BSGF, evidenciando sua viabilidade para produção industrial sustentável”.

Sob perspectiva química e tecnológica, isso significa que o bagaço pode atuar como reforço em matrizes poliméricas biodegradáveis, contribuindo para redução de polímeros convencionais e promovendo substituição parcial de matérias-primas petroquímicas.

Quando se relaciona tais evidências com a realidade da PHILIFEIA, verifica-se que a empresa já atende ao princípio da valorização material ao destinar integralmente o bagaço à alimentação animal, evitando disposição em aterro e alinhando-se à hierarquia da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Entretanto, a análise técnico-científica demonstra que o

potencial do resíduo ultrapassa a atual aplicação, indicando possibilidade de evolução para modelos de maior agregação de valor, especialmente se houver ampliação da escala produtiva ou integração com pesquisa aplicada.

#### 4.5 Avaliação ambiental da gestão atual

A avaliação ambiental da gestão de resíduos sólidos na PHILIFEIA demanda uma abordagem que integre parâmetros técnicos, dados operacionais da empresa e fundamentos contemporâneos da economia circular aplicada ao setor cervejeiro, pois a geração anual estimada de aproximadamente 33,2 toneladas de bagaço de malte deve ser compreendida não como índice de ineficiência, mas como decorrência inerente à seletividade bioquímica do processo de mosturação.

Nesse sentido, Nyhan *et al.* (2023) afirmam que a produção média de bagaço situa-se na ordem de 20 kg por hectolitro de cerveja, o que corresponde a aproximadamente 0,20 kg/L, valor que se aproxima do índice observado na PHILIFEIA (0,23 kg/L), demonstrando coerência técnica com a literatura internacional recente.

Contudo, a análise ambiental torna-se mais robusta quando se examina o cenário alternativo de disposição em aterro sanitário. O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006, p. 3.15) estabelece, em suas diretrizes para inventários de emissões provenientes de resíduos sólidos, que: O valor padrão de 0,5 é recomendado para a fração de metano (F) no gás de aterro, pois a maioria dos resíduos dispostos em locais de disposição final produz um gás com aproximadamente 50% de metano (IPCC, 2006, p. 3.15, tradução nossa), o que evidencia que resíduos orgânicos dispostos em condições anaeróbicas geram metano em proporção significativa, gás cujo potencial de aquecimento global é substancialmente superior ao do dióxido de carbono.

Assim, quando se destina integralmente o bagaço para alimentação animal, a PHILIFEIA evita a rota anaeróbia e, conseqüentemente, mitiga emissões potenciais de CH<sub>4</sub> ao longo do tempo de degradação.

Sendo assim, a valorização do bagaço de malte constitui estratégia central para a consolidação de modelos circulares no setor cervejeiro, pois conforme Nyhan *et al.* (2023) defendem, o bagaço representa oportunidade estratégica para avanço da bioeconomia circular, visto que reduz simultaneamente a geração de resíduos e a dependência de insumos primários. De modo complementar, Eche *et al.* (2025) demonstram que o bagaço de malte apresenta composição nutricional expressiva, caracterizada por elevado teor de fibras alimentares insolúveis (principalmente celulose e hemicelulose), fração proteica residual significativa e presença de compostos fenólicos com atividade antioxidante, conferindo ao material propriedades funcionais relevantes para aplicações alimentícias, sobretudo em produtos que

demandam enriquecimento nutricional e melhoria de perfil tecnológico. Segundo os autores, a incorporação do bagaço em formulações alimentares pode contribuir para aumento do teor de fibras e proteínas, além de agregar compostos bioativos com potencial antioxidante, ampliando o valor funcional do produto final (Eche *et al.*, 2025).

Do ponto de vista tecnológico, o alto teor de fibras promove retenção de água e modulação de textura, características desejáveis na panificação e em produtos cárneos reestruturados, por exemplo, visto que a matriz fibrosa atua como agente estrutural, melhorando estabilidade e consistência, ao passo que a fração proteica pode contribuir para incremento do valor nutricional. Além disso, os compostos fenólicos presentes no bagaço apresentam capacidade antioxidante que pode auxiliar na estabilidade oxidativa de determinados alimentos, retardando processos de deterioração lipídica (Eche *et al.*, 2025).

No que se refere ao trub, Alessandroni *et al.* (2025), realizando caracterização química detalhada de hot e levedura residual, evidenciam que se trata de corrente com composição proteica relevante, presença de compostos fenólicos e frações derivadas do lúpulo, indicando potencial de reaproveitamento agrícola ou tecnológico. Conforme apontam os autores:

O hot e a levedura residual contêm quantidades significativas de proteínas e polifenóis, sugerindo que esses subprodutos cervejeiros não devem ser considerados meramente fluxos de resíduos, mas recursos secundários potencialmente valiosos (Alessandroni *et al.*, 2025, p. 40, tradução nossa)

Tal constatação impõe reflexão crítica sobre a necessidade de inclusão do trub no inventário sistemático da cervejaria, pois, ainda que volumetricamente inferior ao bagaço, sua composição orgânica rica em proteínas coaguladas, polifenóis e frações carbonáceas derivadas do malte e do lúpulo, implica presença significativa de carbono orgânico degradável<sup>1</sup>. Sob condições anaeróbias, como ocorre em aterros sanitários, esse carbono tende a ser convertido microbiologicamente em metano, gás cujo potencial de aquecimento global supera amplamente o do dióxido de carbono em horizonte de 100 anos. Nesse sentido, o IPCC (2006, p. 3.6, tradução nossa) estabelece, de forma explícita:

O carbono orgânico degradável (DOC) presente nos resíduos é decomposto por microrganismos em condições anaeróbias, formando gás de aterro, composto principalmente por metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A

---

<sup>1</sup> Conforme definição metodológica apresentada no IPCC (2006), o DOC corresponde à fração orgânica suscetível à degradação microbiológica em condições anaeróbias.

quantidade de metano gerada depende da quantidade e composição do resíduo e das condições de manejo no local de disposição.

A partir dessa diretriz metodológica, torna-se evidente que o trub, por conter frações orgânicas degradáveis, não pode ser considerado ambientalmente neutro apenas por apresentar menor volume absoluto, visto que o risco climático não se mede exclusivamente pela massa total gerada, mas pela densidade de carbono degradável e pelo cenário de destinação. Assim, sua exclusão de inventário formal comprometeria a visão sistêmica da gestão ambiental, sobretudo porque, em caso de expansão produtiva, o crescimento proporcional do trub poderia intensificar emissões potenciais caso não haja planejamento preventivo.

Nesse sentido, a destinação de resíduos orgânicos deve ser analisada sob perspectiva de ciclo de vida, incorporando emissões diretas e também emissões evitadas e impactos deslocados ao longo da cadeia produtiva (Gyawali *et al.*, 2025). Isso significa que a análise ambiental não deve se limitar à pergunta “para onde o resíduo vai?”, mas também considerar “quais impactos são evitados ao escolher determinada rota?”.

No caso do bagaço de malte, sua utilização como insumo na alimentação animal pode representar substituição parcial de matérias-primas convencionais, reduzindo impactos associados à produção agrícola ou industrial desses insumos. Contudo, essa inferência somente se consolida tecnicamente mediante quantificação comparativa, o que reforça a necessidade de indicadores periódicos de desempenho ambiental.

Sob essa ótica ampliada, a gestão adotada pela PHILIFEIA revela alinhamento inicial com práticas de mitigação climática e economia circular, especialmente no que tange ao bagaço, pois evita a disposição anaeróbia e promove reinserção produtiva da biomassa. Entretanto, a ausência de métricas sistematizadas de emissões evitadas, de controle formalizado da destinação e de avaliação específica do trub limita o grau de maturidade ambiental do empreendimento, pois a sustentabilidade, nesse contexto, não pode ser aferida apenas pela existência de reaproveitamento, mas pela capacidade de demonstrar tecnicamente seus efeitos ambientais por meio de dados verificáveis.

Desse modo, a avaliação ambiental da gestão atual demonstra que a cervejaria opera, na prática, uma estratégia de valorização material compatível com referenciais científicos contemporâneos, porém o amadurecimento do sistema ambiental interno

dependerá da incorporação sistemática de métricas de emissões evitadas, da rastreabilidade documental dos fluxos, da integração do trib ao inventário anual e da adoção de planejamento preventivo capaz de acompanhar eventual expansão produtiva sem amplificação proporcional dos impactos ambientais. Somente com essa consolidação estrutural a empresa poderá transitar de uma gestão ambiental operacionalmente adequada para um modelo ambientalmente estratégico e tecnicamente mensurável.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise técnica realizada na microcervejaria PHILIFEIA demonstrou que a geração de bagaço de malte e trub é uma consequência intrínseca aos processos bioquímicos de mosturação e fervura, e não de ineficiências operacionais. Com uma geração estimada de 0,23 kg de bagaço por litro de cerveja, a empresa alinha-se aos padrões internacionais do setor artesanal. Sob a visão ambiental, a destinação integral do bagaço para alimentação animal atende à hierarquia da legislação brasileira de resíduos sólidos, promovendo a valorização material e diminuindo a emissão de gases de efeito estufa que ocorreria em disposição final em aterros.

Entretanto, identificou-se que a gestão desses subprodutos ainda carece de formalização estratégica. A ausência de indicadores quantitativos periódicos e de um inventário sistemático para o trub limita a capacidade da empresa de mensurar seu desempenho ambiental e acessar certificações de sustentabilidade. Essa lacuna de monitoramento representa um risco face à perspectiva de expansão produtiva da cervejaria, uma vez que o crescimento econômico deve ser acompanhado por mecanismos de controle robustos para garantir que o aumento na geração de resíduos não resulte em impactos ambientais desproporcionais.

Do ponto de vista científico e de inovação, o estudo revelou que o bagaço de malte possui potencial subexplorado como biomassa estratégica na bioeconomia circular. No âmbito acadêmico, a pesquisa reforçou a necessidade de instrumentos de gestão ambiental simplificados e viáveis para a realidade de microindústrias, que operam com estruturas administrativas enxutas e recursos limitados.

Diante do exposto, conclui-se que a PHILIFEIA apresenta prática de gestão de resíduos compatível com diretrizes legais e com princípios iniciais de economia circular, especialmente no que concerne ao reaproveitamento do bagaço de malte. Contudo, a consolidação de um sistema ambientalmente maduro dependerá da implementação de inventário formalizado de resíduos, da incorporação de indicadores quantitativos de desempenho ambiental, da ampliação da rastreabilidade da destinação e do desenvolvimento de estratégias de valorização tecnológica para o trub. A transformação do resíduo em recurso, quando estruturada sob bases técnicas, legais e ambientais sólidas, representa adequação normativa e oportunidade estratégica para fortalecimento da sustentabilidade no setor cervejeiro artesanal.

## 6. REFERÊNCIAS

ALESSANDRONI, L. *et al.* Chemical Characterization of Hot Trub and Residual Yeast: Exploring Beer By-Products for Future Sustainable Agricultural Applications. **Foods**, v. 14, n. 12, p. 2081, jun. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods14122081>. Acesso em: 25 fev. 2026.

ALVES, G. Reaproveitamento de resíduo cervejeiro no cultivo de microalgas: uma abordagem sustentável. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 2023, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: IBEAS, 2023. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2023/II-004.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BONATO, Samuel Vinícius. **Método para gestão de resíduos na cadeia cervejeira do Rio Grande do Sul**. 2016. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/150585>. Acesso em: 12 fev. 2026.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2010]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 25 fev. 2026.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). **Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002**. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. Brasília, DF: CONAMA, [2002]. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31302.html>. Acesso em: 25 fev. 2026.

COSTA, L. R. N. **Gestão de resíduos sólidos na produção de cerveja artesanal**: estudo de caso em Natal-RN. 2025. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstreams/13061e9f-f82e-4508-8224-8a13f8934085/download>. Acesso em: 12 fev. 2026.

CUCOLO, M. C. Produção mais limpa como estratégia de marketing verde no setor cervejeiro artesanal. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 45-60, 2021. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/6345>. Acesso em: 12 fev. 2026.

DINIZ, D. P. **Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida de cerveja artesanal**: estudo de caso em João Pessoa-PB. 2024. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2024. Disponível em:

[https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/34331/1/DanielDePaulaDiniz\\_Tese.pdf](https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/34331/1/DanielDePaulaDiniz_Tese.pdf). Acesso em: 12 fev. 2026.

DOMINGUES, Islaine de Castro; KAMEYAMA, Oswaldo. Viabilidade tecnológica, nutricional e sensorial do aproveitamento do bagaço de malte na panificação: uma revisão. **Anais do JOSIF**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 1-10, 2022. Disponível em: <https://josif.ifsuldeminas.edu.br/ojs/index.php/anais/article/download/97/252/4143>. Acesso em: 12 fev. 2026.

ECHE, V.; EMENIKE, C. U.; RUPASINGHE, H. P. V. Nutritional Value of Brewer's Spent Grain and Consumer Acceptance of Its Value-Added Food Products. **Foods**, v. 14, n. 16, p. 2900, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods14162900>. Acesso em: 25 fev. 2026.

FIGUEIREDO, Gabriel Silva. **Viabilidade da reutilização do bagaço de malte na produção de cerveja**: estudo de caso em uma cervejaria artesanal. 2023. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/250174/PEMC2311-D.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2026.

GOMES, Gustavo Vasconcelos; VITE, Winnie Evelyn Valeria Perez; ALVES, Pablio Abreu. Estudo de caso: o desafio do malte. In: QUEIROZ, Salete Linhares; FIGUEIREDO, Caio Moralez de (org.). **Estudos de caso no ensino de ciências da natureza 1 [recurso eletrônico]**: Química em foco. São Carlos: Diagrama Acadêmico, 2025. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/8288c3c6-feab-49c0-88d7-9a3713edf39d/P22351.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2026.

GYAWALI, P. *et al.* Predicting biomass global warming potential with FT-NIR spectroscopy. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 33725, set. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-10584-z>. Acesso em: 25 fev. 2026.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**: volume 5 waste: chapter 3 solid waste disposal sites. Hayama: IGES, 2006. Disponível em: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/V5\\_3\\_Ch3\\_SWDS.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_3_Ch3_SWDS.pdf). Acesso em: 25 fev. 2026.

KALAK, T. *et al.* Characterization and sustainable valorization of brewers' spent grain as sorbent material for water treatment. **Sustainability**, v. 17, n. 20, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/20/9288>. Acesso em: 26 fev. 2026.

MALTA, Pedro Carlos Corrêa. Reaproveitamento do bagaço de malte da cervejaria artesanal por meio da compostagem. **Revista Multidisciplinar de Meio Ambiente**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 1-10, 2021. Disponível em: <https://editoraime.com.br/revistas/index.php/rema/article/view/1774>. Acesso em: 12 fev. 2026.

NASCIMENTO, Camila Silva do. **Prospecção de produtos inovadores com a utilização do bagaço de malte na fabricação de gelatos**. 2020. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade

Federal de Alagoas, Maceió, 2020. Disponível em:

<https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/7622/1/Prospec%C3%A7%C3%A3o%20de%20produtos%20inovadores%20com%20a%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20do%20baga%C3%A7o%20de%20malte%20na%20fabrica%C3%A7%C3%A3o%20de%20gelatos.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2026.

NEIRA MONSALVE, V. A. *et al.* Valorization of brewer's spent grain liquid fraction for food products: physicochemical and sensory evaluation. **Foods**, v. 14, n. 23, p. 4053, 2025.

Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/14/23/4053>. Acesso em: 26 fev. 2026.

NYHAN, L. *et al.* Brewers' Spent Grain: An Unprecedented Opportunity to Develop Sustainable Plant-Based Nutrition Ingredients Addressing Global Malnutrition Challenges. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 71, n. 28, p. 10543- 10564, 2023.

Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c02489>. Acesso em: 25 fev. 2026.

OLIVEIRA, D. S. **Sustentabilidade e microcervejarias**: análise da gestão de resíduos sólidos. 2024. 90 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2024. Disponível em:

<https://dspace.sti.ufcg.edu.br/bitstream/riufcg/42019/3/RAFAEL%20FELIPE%20RAMOS%20DE%20RANGEL%20MOREIRA%20CAVALCANTI%20-%20TESE%20-%20%28PPGEGRN%29%202025.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2026.

PAIVA SANTIAGO, P. *et al.* Valorization of brewer's spent grain through ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds. **ACS Omega**, 2025. Disponível em:

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.4c10526>. Acesso em: 26 fev. 2026.

REBELO, Clailson Leal *et al.* Gestão ambiental na cervejaria Pará: um estudo de caso. **Semana Acadêmica**, [S. l.], 2010. Disponível em:

[https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/gestaoambientalnacervejariapar\\_aumestudodecaso.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/gestaoambientalnacervejariapar_aumestudodecaso.pdf). Acesso em: 12 fev. 2026.

RIBEIRO-SANCHES, M. A. *et al.* Valorization of brewer's spent grains through alkaline processing: effects on composition and rheological properties. **Food and Bioproducts Processing**, v. 147, 2024. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960308524001329>. Acesso em: 26 fev. 2026.

SALVIANO, F. R.; REIS NETO, J. F.; MATIAS, R. Cerveja artesanal em Campo Grande – MS: análise do impacto ambiental e gestão de resíduos. **Revista RECIMA21**, [S. l.], v. 3, n. 7, p. 1-15, 2022. Disponível em: <https://recima21.com.br/recima21/article/download/1666/1256>. Acesso em: 12 fev. 2026.

SANTIAGO, Paloma Paiva. **Aproveitamento do bagaço de malte como fonte de bioativos utilizando solvente eutéctico profundo integrado a ultrassom**. 2023. 78

f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em:

[https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/73308/5/2023\\_dis\\_ppsantiago.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/73308/5/2023_dis_ppsantiago.pdf). Acesso em: 12 fev. 2026.

SANTOS MELO, Ana Elizabete dos. Aproveitamento do bagaço de malte da cervejaria artesanal na produção de alimentos. **Revista Foco**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 1- 10, 2024.

Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/4201>.

Acesso em: 12 fev. 2026.

SOUSA, J. P. C. **Aproveitamento do resíduo cervejeiro na produção de biofertilizantes.**

2025. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2025. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/45970>. Acesso em: 12 fev. 2026.

TOMBINI, C. *et al.* Análise da gestão do resíduo bagaço de malte em cervejarias da região oeste e extremo oeste do estado de Santa Catarina. **Conjecturas**, [S. l.], v. 22, n. 8, p. 560-580, 2022. Disponível em:

<https://conjecturas.org/index.php/edicoes/article/view/1089>. Acesso em: 12 fev. 2026.

VERDE, A. A. de A. Destino sustentável de resíduos de cervejaria artesanal: um estudo de caso em uma granja de suínos. **Revista Valore**, Volta Redonda, v. 4, n. 1,

p. 1-10, 2019. Disponível em: <https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/317>.

Acesso em: 12 fev. 2026.

VISCO, A. *et al.* Reuse of beer spent grain for the industrial production of biodegradable biocomposites. **Industrial Crops and Products**, v. 235, 121684, nov. 2025. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121684>. Acesso em: 25 fev. 2026.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.