


**ANÁLISES QUÍMICAS DO BAGAÇO DE MALTE E ESTUDO DE SUA CAPACIDADE
SORTIVA DE ÓLEO DIESEL****CHEMICAL ANALYSES OF MALT BAGASSE AND STUDY OF ITS DIESEL OIL
SORBENT CAPACITY****ANÁLISIS QUÍMICOS DEL BAGAZO DE MALTA Y ESTUDIO DE SU CAPACIDAD DE
ABSORCIÓN DE GASÓLEO** <https://doi.org/10.56238/rcsv16n5-002>

Data de submissão: 08/04/2026

Data de aprovação: 08/05/2026

Luiz Flávio José dos Santos

Doutor

Instituição: Centro Paula Souza - Fatec - Ribeirão Preto

E-mail: luiz.santos02@cps.sp.gov.brOrcid: <https://orcid.org/0000-0002-2868-5430>

Lattes: 5888302973425312

Ana Júlia Batista da Silva

Ensino médio e técnico

Instituição: Centro Paula Souza - Etec Bento Carlos Botelho do Amaral - Guariba

E-mail: ana.silva5716@etec.sp.gov.brOrcid: <https://orcid.org/0009-0008-0508-0931>

Lattes: 0642811117604018

Gabriel Souza Silva

Ensino médio e técnico

Instituição: Centro Paula Souza - Etec Bento Carlos Botelho do Amaral - Guariba

E-mail: gabriel.silva3355@etec.sp.gov.brOrcid: <https://orcid.org/0009-0007-0031-4615>

Lattes: 6451307086619532

Júlia Borges Ferreira Manduca

Ensino médio e técnico

Instituição: Centro Paula Souza - Etec Bento Carlos Botelho do Amaral - Guariba

E-mail: julia.manduca@etec.sp.gov.brOrcid: <https://orcid.org/0009-0006-8474-2950>

Lattes: 5469869653310768

Stéfani Cristina Ambrozino Muniz

Ensino médio e técnico

Instituição: Centro Paula Souza - Etec Bento Carlos Botelho do Amaral - Guariba

E-mail: stefani.muniz@etec.sp.gov.brOrcid: <https://orcid.org/0009-0006-6596-5219>

Lattes: 4048314091530178

Maria Vitória Almeida da Silva

Ensino médio e técnico

Instituição: Centro Paula Souza - Etec Bento Carlos Botelho do Amaral - Guariba

E-mail: maria.silva537@fatec.sp.gov.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-0908-4726>

Lattes: 0461306323954134

Anna Carolina de Oliveira Souza

Doutora

Instituição: Centro Paula Souza - Etec Bento Carlos Botelho do Amaral - Guariba

E-mail: anna.souza87@etec.sp.gov.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8028-5418>

Lattes: 3489602585225522

RESUMO

Os derramamentos de óleo diesel representam um grave problema ambiental, causando danos ao solo e aos ecossistemas aquáticos, além de representarem riscos para a segurança rodoviária. Assim, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar o bagaço de malte, subproduto da indústria cervejeira, e avaliar sua capacidade sorvente para óleo diesel, visando seu uso no controle de derramamentos em pistas. O resíduo foi caracterizado quanto à umidade, teor de cinzas, matéria orgânica e densidade. A capacidade de sorção foi investigada em ensaios de laboratório que avaliaram a influência do tempo de contato, massa do sorvente, volume de óleo e área de dispersão. Os resultados mostraram que o bagaço de malte apresenta densidade de 0,99 g/mL e elevada umidade (70,25%), indicando a necessidade de secagem prévia para otimizar a absorção. O material demonstrou rápida cinética de sorção, atingindo sua capacidade máxima em apenas 5 minutos, com uma capacidade sortiva de 0,807 g de óleo por grama de bagaço. As variáveis volume de óleo e área de dispersão não influenciaram significativamente a eficiência de absorção. Conclui-se que o bagaço de malte seco é um material promissor para aplicação como sorvente natural e de baixo custo, apresentando resposta rápida e adequada para o gerenciamento inicial de derramamentos de diesel, além de agregar valor a um resíduo agroindustrial abundante e promover uma solução mais sustentável.

Palavras-chave: Bagaço de Malte. Sorvente Natural. Derramamento de Óleo Diesel. Resíduo Agroindustrial.

ABSTRACT

Diesel oil spills represent a serious environmental problem, causing damage to soil and aquatic ecosystems, as well as posing risks to road safety. Therefore, this study aimed to characterize malt bagasse, a byproduct of the brewing industry, and evaluate its sorbent capacity for diesel oil, aiming at its use in controlling spills on roads. The residue was characterized in terms of moisture, ash content, organic matter, and density. The sorption capacity was investigated in laboratory tests that evaluated the influence of contact time, sorbent mass, oil volume, and dispersion area. The results showed that malt bagasse has a density of 0.99 g/mL and high moisture content (70.25%), indicating the need for prior drying to optimize absorption. The material demonstrated rapid sorption kinetics, reaching its maximum capacity in just 5 minutes, with a sorption capacity of 0.807 g of oil per gram of bagasse. The variables oil volume and dispersion area did not significantly influence absorption efficiency. It is concluded that dried malt bagasse is a promising material for application as a natural and low-cost sorbent, offering a rapid response suitable for the initial management of diesel spills, in addition to adding value to an abundant agro-industrial residue and promoting a more sustainable solution.

Keywords: Malt Bagasse. Natural Sorbet. Diesel Oil Spill. Agro-Industrial Waste.

RESUMEN

Los derrames de gasóleo representan un grave problema ambiental, causando daños al suelo y a los ecosistemas acuáticos, además de suponer un riesgo para la seguridad vial. Por ello, este trabajo tuvo como objetivo caracterizar el bagazo de malta, un subproducto de la industria cervecera, y evaluar su capacidad de adsorción de gasóleo, con miras a su uso en el control de derrames en carreteras. El residuo se caracterizó en términos de humedad, contenido de cenizas, materia orgánica y densidad. La capacidad de adsorción se investigó mediante ensayos de laboratorio que evaluaron la influencia del tiempo de contacto, la masa del adsorbente, el volumen de aceite y el área de dispersión. Los resultados mostraron que el bagazo de malta tiene una densidad de 0,99 g/mL y un alto contenido de humedad (70,25 %), lo que indica la necesidad de un secado previo para optimizar la absorción. El material demostró una cinética de adsorción rápida, alcanzando su capacidad máxima en tan solo 5 minutos, con una capacidad de adsorción de 0,807 g de aceite por gramo de bagazo. Las variables volumen de aceite y área de dispersión no influyeron significativamente en la eficiencia de la absorción. Se concluye que el bagazo de malta seco es un material prometedor para su aplicación como adsorbente natural y de bajo costo, mostrando una respuesta rápida y adecuada para el manejo inicial de derrames de diésel, además de agregar valor a un residuo agroindustrial abundante y promover una solución más sostenible.

Palabras clave: Bagazo de Malta. Adsorbente Natural. Derrame de Gasóleo. Residuo Agroindustrial.

1 INTRODUÇÃO

O petróleo bem como seus derivados, dentre eles o óleo diesel, são uma das mais importantes fontes de produtos diversos e energia de nossa sociedade a séculos, além de se configurar como um dos pilares do desenvolvimento tecnológico até os dias de hoje. No entanto, é evidente que não pode-se ignorar que solo e água contaminados com hidrocarbonetos provenientes do petróleo são uma importante pauta ambiental da atualidade, devido aos efeitos negativos causados em diferentes ecossistemas (Al-Samhan *et al.*, 2022; Kaur *et al.*, 2024).

A intensa utilização destes em diversos setores industriais, somada às atividades de exploração e transporte, torna esses compostos um dos mais comuns contaminantes ambientais. Sua natureza hidrofóbica, dificulta sua dispersão e degradação no meio ambiente, agravando os impactos da contaminação (Elijah, 2022).

Os derramamentos de óleo diesel representam uma séria preocupação ambiental em todo o mundo, esses eventos podem ocorrer em corpos d'água, rodovias, ferrovias, portos ou mesmo em instalações industriais, resultando em consequências devastadoras para o meio ambiente e a saúde pública. Os impactos desses derramamentos incluem a contaminação do solo, da água subterrânea e de corpos d'água adjacentes, afetando negativamente os ecossistemas e a biodiversidade (Andrade; Augusto; Jardim, 2010).

Segundo Rosa (2022), além dos danos ambientais, os derramamentos de óleo diesel também representam riscos significativos para a segurança rodoviária. O óleo diesel derramado cria uma superfície escorregadia, diminuindo a aderência dos pneus dos veículos à pista e aumentando o risco de acidentes de trânsito. Portanto, é fundamental desenvolver métodos eficientes e sustentáveis para o controle e mitigação desses derramamentos, visando minimizar os danos causados ao meio ambiente e garantir a segurança das vias.

Nesse contexto, a busca por materiais absorventes eficazes desempenha um papel crucial para eliminação do material derramado, sendo que, atualmente, os absorventes mais comumente utilizados para o controle de derramamentos de óleo são derivados de petróleo, como mantas, almofadas e pós absorventes. No entanto, esses materiais também têm impactos ambientais negativos significativos, tanto em sua produção quanto em seu descarte (Zhang *et al.*, 2019).

Com a necessidade de soluções eficientes e sustentáveis para o controle de derramamentos de óleo diesel em pistas, evitando-se até mesmo que o poluente chegue ao ambiente ao invés de trata-lo após a contaminação, projetos que se propõem a explorar o potencial de subprodutos agroindustriais como uma alternativa viável e ambientalmente amigável, tem potencial para ampliar os ganhos deste setor industrial ao mesmo tempo que diminui sua geração de resíduos e ainda pode vir a solucionar um problema ambiental (Kaur *et al.*, 2024).

Diante do exposto, o pretesente trabalho teve como objetivo caracterizar o bagaço de malte pós fermentado e estudá-lo como sorvente para o controle de possíveis derramamentos de óleo diesel em pista.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Uma abordagem promissora para mitigar os impactos de derramamento de óleo diesel em pistas, é a utilização de subprodutos agroindustriais como materiais sorventes alternativos, em especial os de origem vegetal (Annunciado; Sydenstricker; Silva, 2005), mas sabe-se que a composição química destes resíduos é complexa e heterogênea, sendo influenciada por diversos fatores como o tipo de planta, a parte utilizada (fruto, caule, folha), a idade da planta, as condições de cultivo e os processos industriais a que a biomassa foi submetida. Os principais componentes estruturais são a celulose, hemicelulose e lignina, que formam a parede celular das plantas. Além desses, estão presentes minerais, proteínas, lipídios e outros compostos em menor proporção (Célineo *et al.*, 2014).

No contexto mais amplo de materiais absorventes de óleo, uma revisão abrangente categoriza as principais abordagens em polímeros sintéticos, materiais inorgânicos e biomassa. Dentre estes, os materiais de base biológica, como aerogéis e membranas à base de celulose, têm se destacado por combinarem alta capacidade de absorção, seletividade, biodegradabilidade e baixo custo. Esses materiais frequentemente requerem modificações de superfície, melhorando sua performance na separação de óleos e solventes orgânicos da água (Zhang *et al.*, 2018).

Um desses subprodutos é o bagaço de malte, que é gerado durante o processo de produção de cerveja, pois o malte é um dos principais ingredientes da cerveja e seu bagaço o maior subproduto desta indústria, representando cerca de 85 % do total de resíduos gerados, sendo geralmente descartado ou subutilizado. No entanto, o bagaço de malte pode possuir características que o tornam potencialmente adequado como absorvente de óleo diesel (Zhang *et al.* 2019; Tombini *et al.* 2023; Paul-Loup; Villain-Gambier; Trébouet, 2024).

A indústria cervejeira nacional apresentou crescimento constante, produzindo aproximadamente 15,4 bilhões de litros em 2023, o que mantém o Brasil na posição de terceiro maior produtor mundial, superado apenas pela China e pelos Estados Unidos (SINDICERV, 2024). Estima-se que esse volume resulte na geração de cerca de 3,08 milhões de toneladas de bagaço de malte por ano, considerando o fator de conversão de aproximadamente 20 kg de resíduo úmido para cada 100 litros de cerveja produzidos, sendo um subproduto de alto valor nutricional e potencial biotecnológico para a economia circular (Coletti, 2022; BRASIL, 2024).

O bagaço de malte, resíduo lignocelulósico rico em proteínas (cerca de 20%) e fibras (cerca de 70%), é um subproduto da indústria cervejeira obtido após a etapa de brassagem, a uma temperatura

aproximada de 75°C. Devido à sua composição nutricional, o bagaço de malte tem sido amplamente estudado para diversas aplicações, incluindo alimentação animal e humana, produção de energia (combustível, biogás, etanol), produção de carvão vegetal, fabricação de papel e como substrato em processos fermentativos (Zhang *et al.* 2019; Tombini *et al.* 2023; Paul-Loup; Villain-Gambier; Trébouet, 2024).

O processo de secagem é uma etapa crucial para a aplicação eficaz de materiais lignocelulósicos como sorventes, pois influencia diretamente sua porosidade, área superficial e, conseqüentemente, a capacidade de sorção. Quando este processo ocorre de forma adequada permite a obtenção de um material com características físicas otimizadas para a absorção de óleos e outros líquidos (Zhang *et al.*, 2022).

Segundo Begum, Tanni e Shahid (2021), fibras naturais têm sido muito procuradas no mundo de hoje por causa de suas propriedades superiores, sendo o bagaço de malte um material fibroso e poroso, o que lhe confere uma capacidade natural de absorver líquidos. Além disso, é um subproduto abundante e de baixo custo, o que o torna uma opção interessante para a utilização como absorvente. A reciclagem desse resíduo da indústria cervejeira para sorção de óleo diesel não apenas pode contribuir para reduzir o desperdício, mas também oferece uma solução mais sustentável e ambientalmente amigável para o controle de derramamentos em pista (Amoriello; Ciccoritti; 2021).

A utilização de resíduos vegetais para a remediação ambiental já é uma prática consolidada, evidenciando o potencial desses materiais como agentes de biostimulação. Pesquisas sobre a biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos de petróleo demonstraram que a adição de misturas de bagaço de cana-de-açúcar e serapilheira foliar foram capazes de aumentar significativamente a população microbiana degradadora e promover a remoção de até 33% dos hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) em 90 dias (Nunes *et al.*, 2020). Este princípio de valorização de resíduos agroindustriais para fins de remediação reforça a viabilidade da proposta de usar o bagaço de malte, outro resíduo vegetal abundante, como uma solução sorvente para derramamentos de óleo diesel.

3 MATERIALS AND METHODS

A pesquisa foi realizada por alunos do curso técnico em Química integrado ao ensino médio da Etec Bento Carlos Botelho do Amaral, na modalidade Articulação da Formação Profissional Média e Superior (AMS), que é oferecido junto ao Campus da Fatec Nilo de Stéfani, em Jaboticabal, bolsistas de iniciação científica na modalidade Pibic-EM CNPQ/CPS.

Para garantir a segurança das análises, foram seguidas as normas de segurança laboratorial, incluindo o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e a manipulação adequada dos

reagentes e equipamentos. O descarte adequado dos resíduos gerados durante as análises também foi realizado conforme as Normas Regulamentadoras (NR) ambientais, de saúde e segurança do trabalho, NR32 (Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde) e NR25 (Resíduos Industriais).

3.1 COLETA DO BAGAÇO DE MALTE

O bagaço de cevada foi obtido por meio de parceria com a “Cervejaria Cigana”, localizada no município de Jaboticabal-SP, como subproduto de seu processo de produção de cerveja.

O material foi coletado em quantidade suficiente para realização dos experimentos e utilizado da maneira como foi adquirido nos testes de caracterização. Para os testes de sorção o bagaço foi seco em estufa a temperatura controlada de 50°C por 24 horas para reduzir sua umidade e garantir sua estabilidade antes de ser utilizado.

3.2 DETERMINAÇÃO DE DENSIDADE

Uma massa conhecida de bagaço de malte foi transferida para a proveta com 50 mL de água destilada, e foi calculado o volume deslocado (diferença entre volume final e inicial).

A densidade (g/mL) foi calculada pela fórmula $d = \frac{m}{V}$, onde:

d= densidade

m=massa total da amostra

V= volume da amostra.

3.3 TEOR DE UMIDADE

Foi utilizada balança de umidade automática com sistema de aquecimento, onde foi registrada a massa inicial da amostra úmida (M_i), a amostra foi seca até estabilização da massa, obtendo-se o valor final (M_f). O teor de umidade (%) foi calculado pela fórmula:

$$\text{Teor de umidade} = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100$$

3.4 TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA

Foi aferida uma massa de 20 g de bagaço úmido, em seguida, esta foi carbonizada em mufla e pesada novamente, para obter a massa carbonizada. Foi calculada a amostra sem água, pela fórmula:

$Au \times 0,2975$, onde Au = amostra úmida.

O teor de matéria orgânica foi calculado por:

$$\left(1 - \frac{\text{amostra carbonizada}}{\text{amostra sem água}}\right) \times (100 - \text{umidade})$$

3.5 TEOR DE CINZAS

O teor de cinzas, expresso em porcentagem, foi calculado pela fórmula:

$$\text{Teor de Cinzas (\%)} = \frac{\text{massa de cinzas}}{Au} \times \left(\frac{100}{100 - \text{Teor de umidade \%}}\right) \times 100, \text{ onde o Teor de}$$

Umidade médio, determinado previamente por secagem em estufa, foi utilizado para correção.

3.6 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÓLEO DIESEL

As amostras de óleo diesel foram obtidas de um posto de combustíveis que participa do programa “Posto fiel” executado pelo Centro de Excelência em Pesquisa e Análise de Combustíveis e Biocombustíveis (Cempec), vinculado a Unesp – Câmpus Araraquara, que realiza o monitoramento da qualidade de combustíveis creditando que o combustível esteja de acordo com as especificações nacionais.

As amostras de óleo diesel tiveram calculada sua densidade para futuras conversões.

3.7 TESTE DE ABSORÇÃO DE ÓLEO DIESEL

Para as análises, foram utilizados béqueres de vidro, nos quais o bagaço foi colocado, além de provetas para medida do volume de óleo, coletores de nylon para separação dos materiais e extração do excesso de óleo e balança para aferição das massas. Os procedimentos abaixo listados foram realizados:

- Uma massa determinada do bagaço do malte foi adicionada em cinco béqueres; foi derramado um volume padronizado de óleo diesel em cada béquer;
- Após o tempo de contato do bagaço com o óleo, o bagaço foi transferido para um coletor de nylon onde foi drenado o excesso de óleo durante cinco minutos; o malte úmido teve sua massa aferida em balança digital semi-analítica.

3.8 VARIAÇÃO NOS PARÂMETROS TESTADOS

Os experimentos sobre a capacidade do bagaço em absorver e reter o óleo diesel foram realizados com variações em parâmetros descritos segundo a Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição detalhada do experimento.

Variável testada	Valores testados			
	Tempo de contato (minutos)	Massa do bagaço (g)	Volume de óleo diesel (ml)	Área de contato (cm ²)
Tempo de contato	5	10	50	33
	20	10	50	33
	40	10	50	33
	60	10	50	33
Massa do bagaço	5	10	50	33
	5	20	50	33
	5	30	50	33
	5	40	50	33
Volume de óleo diesel	5	20	50	33
	5	20	75	33
	5	20	100	33
Área de dispersão do bagaço	5	20	50	33
	5	20	50	53
	5	20	50	86

Fonte: Próprio autor (2026).

3.9 EXPRESSÃO E COMPARAÇÃO DOS DADOS

Para determinação da sorção do bagaço de malte foi realizado o seguinte cálculo:

Massa de óleo sorvido pela massa seca do material sorvente, representada na equação: $Mos = Mf - Mi$, expressa em gramas. Onde:

Mos é a massa de óleo sorvido

Mf é a massa final do material após a exposição ao óleo e a drenagem do excesso

Mi é a massa inicial do bagaço antes do teste.

Para determinação da capacidade sortiva das cascas de amendoim foi realizado o seguinte cálculo:

Capacidade sortiva da massa do malte seco, representada na equação: $Cs = \frac{Mos}{Mi}$, expressa em gramas de óleo sorvido por grama de material sorvente. Onde:

Cs=capacidade sortiva do material

Mos= massa de óleo sorvido pelo bagaço

Mi= massa inicial de malte utilizadas no teste.

3.10 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As análises foram compostas por cinco repetições para cada situação experimental avaliada. Após obter as médias das repetições foi realizado teste de Tukey para comparação das médias a 5% de probabilidade.

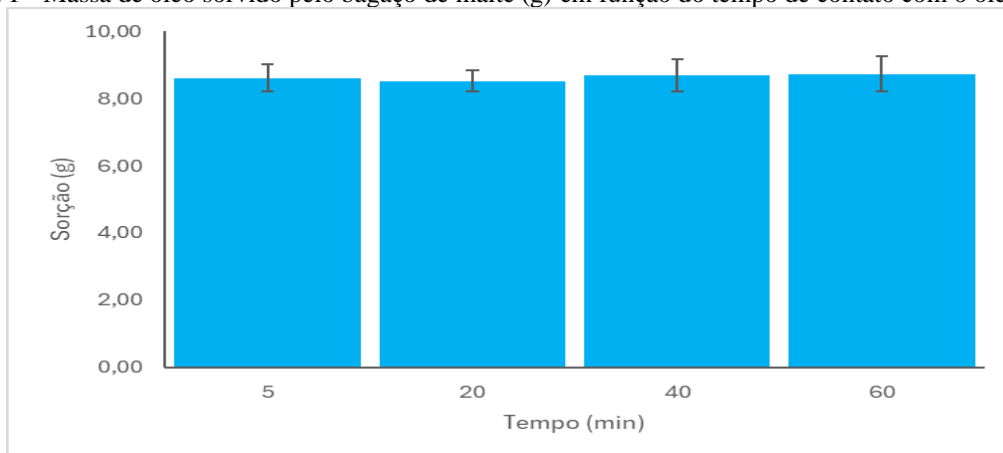
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do óleo diesel foi calculada em 0,848 g/ml sendo este valor utilizado nos cálculos de sorção do bagaço do malte, resultado dentro dos padrões de massa específica da Resolução nº968 (ANP, 2024) que “estabelece as especificações dos óleos diesel destinados a veículos ou equipamentos dotados de motores do ciclo diesel”.

Os resultados para a variável tempo de contato mostraram que não houve variação na absorção de óleo ao deixar o bagaço por mais tempo em contato com o líquido, ou seja, a absorção foi a mesma nos tempos de 5, 20, 40 e 60 minutos (Figura 1), por isso, decidiu-se seguir os demais experimentos com o tempo de 5 minutos.

De acordo com Célineo *et al.* (2014), as fibras vegetais são compostas principalmente carboidratos poliméricos como celulose, hemiceluloses, lignina e pectina. Estes materiais formam feixes de fibra em rede que apresentam poros, sendo que a absorvidade do material depende de características químicas (como composição molecular e interação das moléculas do absorvente com o líquido) e físicas (como o tamanho dos poros). Possivelmente os poros dessa fibra devem ser bem acessíveis e relativamente grandes, pois se os poros fossem estreitos, o óleo teria dificuldade em ser absorvido, e então a absorção deveria aumentar com o passar do tempo.

Figura 1 - Massa de óleo sorvida pelo bagaço de malte (g) em função do tempo de contato com o óleo (min).



Barras em destaque representam o desvio padrão das médias.

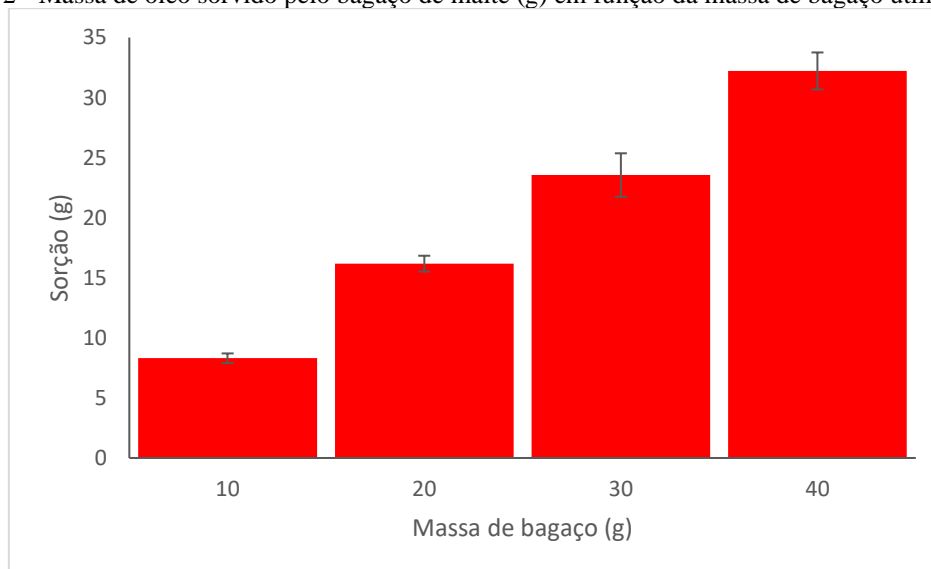
Fonte: Próprio autor (2026).

Os resultados do presente estudo diferem do encontrado por Annunciado, Sydenstricker e Silva (2005) que estudaram a capacidade sortiva de paina, sisal, serragem, fibra de coco, bucha vegetal e

rejeitos folhosos, possivelmente devido a diferença das características físico-químicas dos materiais como discutido no parágrafo anterior, o que propõe o bagaço de malte como um subproduto mais interessante quando se busca imobilizar o poluente de maneira mais ágil.

Ao testar o efeito do aumento da massa do bagaço verificou-se que a absorção do óleo aumentou proporcionalmente em relação a massa (Figura 2). Assim, poder-se-ia escolher qualquer massa do bagaço para realizar os experimentos porque essa variável não interfere na absorção do óleo, mas a massa de 20 gramas foi selecionada por melhor se adequar aos equipamentos disponíveis. Além disso, com esse experimento foi possível calcular a capacidade sortiva do bagaço de malte seco que foi calculada em 0,807 gramas de óleo absorvido para cada um grama de bagaço em cinco minutos de exposição.

Figura 2 - Massa de óleo sorvido pelo bagaço de malte (g) em função da massa de bagaço utilizada (g).



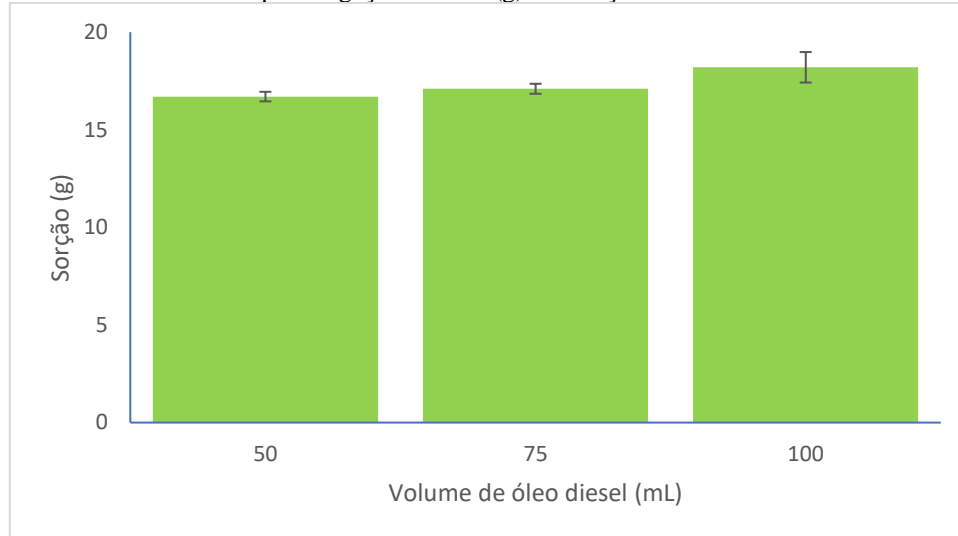
Barras em destaque representam o desvio padrão das médias.

Fonte: Próprio autor (2026).

Ainda em comparação com o apresentado por Anunciado, Sydenstricker e Silva (2005), o bagaço do malte seco tem capacidade sortiva melhor que sisal, serragem, fibra de coco, bucha vegetal e rejeitos folhosos; ficando atrás somente da paina.

Quanto foi variado o volume de óleo, verificou-se que as absorções foram iguais, independentemente do aumento volume de óleo no momento do contato (Figura 3), o que reafirma que após a capacidade sortiva ser alcançada o excesso do líquido não será mais imobilizado (Céline *et al.* 2014).

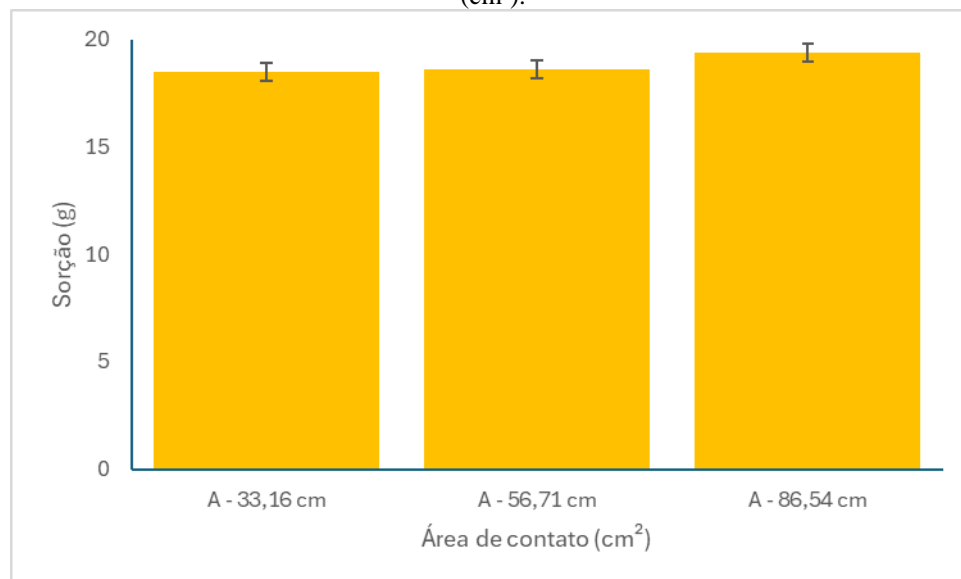
Figura 3 - Massa de óleo sorvido pelo bagaço de malte (g) em função do volume de óleo diesel utilizado (ml).



Barras em destaque representam o desvio padrão das médias.

Fonte: Próprio autor (2026).

No teste da área de dispersão do bagaço com o óleo, os resultados mostraram que esta variável também não influencia na absorção do óleo (Figura 4), ou seja, mesmo que aumente a área para que ocorra o contato entre o sorvente e o líquido, não ocorreu aumento significativo de sorção. Kaur e colaboradores (2024) verificaram que a superfície de contato entre o óleo e o sorvente pode influenciar na quantidade de líquido imobilizado, assim para futuros testes ao invés de dispersar mais o bagaço, seria mais interessante verificar o efeito da granulometria do mesmo sobre suas propriedades sortivas.

Figura 4 - Massa de óleo sorvido pelo bagaço de malte (g) em função da área onde ocorreu o contato entre óleo e bagaço (cm²).

Barras em destaque representam o desvio padrão das médias.

Fonte: Próprio autor (2026).

Os resultados obtidos na caracterização do material estão expressos na tabela 2, sendo que os valores dos desvios padrão mostram que os valores são significativos.

Tabela 2 - Média dos valores e desvio padrão dos resultados.

Caracterização do Bagaço	
Umidade (%)	70,25 ± 0,19
Cinzas (%)	19,64 ± 1,59
Matéria orgânica (%)	10,11 ± 1,59
Densidade (g.mL ⁻¹)	0,99 ± 0,13

Fonte: Próprio autor (2026).

A discrepância entre os resultados do presente estudo e dos encontrados por Annunciado, Sydenstricker e Silva (2005) que propõem o bagaço de malte como subproduto mais interessante quando se busca imobilizar o óleo de maneira mais ágil, podem ser analisados agora sob a óptica das características do material, iniciando pela densidade que está diretamente relacionada com a porosidade dos tecidos da fibra.

Segundo Barbosa *et al.* (2025), a densidade das partículas e composição da matéria influenciam diretamente as propriedades físicas e químicas, devido à relação direta entre a quantidade de “vazios” existentes na fibra, e de sua área de contato. Assim a alta porosidade do bagaço de malte pode ser estimada, pois a baixa densidade aparente calculada em 0,99g/ml evidência um alto espaçamento entre os poros do bagaço, que conseqüentemente resultam em uma rápida absorção devido á fácil acessibilidade do poluente.

A umidade foi aferida em 70,25% no bagaço de malte logo após a geração do resíduo, o que leva a conclusão de que a utilização deste material em forma úmida para fins absorventes deve ser evitada pois a alta concentração de água impede que a fibra retenha grande parte do óleo derramado, já que o óleo, substância apolar, não se mistura com a água. Sendo assim, recomenda-se a secagem da matéria para eliminação da água para utilização em derramamentos de óleo diesel.

Segundo Massardi, Massini e Silva (2020) a composição desse resíduo é diversa e varia com meio de produção, mas em geral, encontra-se: celulose, hemiceluloses, lignina, proteínas, extrativos e cinzas. Entre as hemiceluloses, os polímeros constituintes mais comuns são a xilana formada pelo açúcar xilose, e arabinana formada pelo açúcar arabinose. O teor de matéria orgânica calculado em 10,11% indica pouca quantidade de matéria orgânica presente no bagaço de malte.

De acordo com Santos, Pasolini e Costa (2023) as cinzas são compostas por resíduos inorgânicos provenientes da queima da matéria orgânica, sendo constituídas principalmente por potássio, sódio, cálcio, silício e magnésio, podendo conter em menores quantidades: alumínio, cobre,

ferro, manganês e zinco. As cinzas obtidas em 19,64% representam um valor razoável, já que quanto maior o teor de cinzas, maior a concentração de minerais que diminuem a capacidade sortiva do bagaço de malte.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A densidade de 0,99 g/ml da fibra sugere a presença de poros bem acessíveis que lhe oferece uma rápida absorção do óleo, mas devido ao alto teor de umidade aferido em 70,25%, conclui-se que o bagaço precisa de uma pré-secagem para melhor retenção do óleo diesel derramado. Conclui-se ainda que cada grama do bagaço tem a capacidade de imobilizar 0,805 gramas de óleo diesel em cinco minutos de exposição, o que o capacita como um material eficiente na imobilização do poluente.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil, pela concessão da bolsa de Iniciação Científica (PIBIC).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. IMPRENSA NACIONAL. **Resolução ANP Nº 968, DE 30 DE ABRIL DE 2024 - DOU - Imprensa Nacional**, 2024. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-anp-n-968-de-30-de-abril-de-2024-557405632>. Acesso em: 09 ago. 2024.

AL-SAMHAN, M. *et al.* Prospects of refinery switching from conventional to integrated: An opportunity for sustainable investment in the petrochemical industry. **Fuel**, v. 310, p. 122161, fev. 2022.

AMORIELLO T., CICCORITTI R. Sustainability: Recovery and Reuse of Brewing-Derived By-Products. **Sustainability**. 2021; v. 13, n. 4, 2355.

ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Ecl. Quím.**, São Paulo, v. 35, n. 3, p.17-43. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-467020> h. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eq/a/sGLvvg5B6qBspNBtncd9GKq/?lang=pt>. Acesso em: 14 maio 2025.

ANNUNCIADO, T. R.; SYDENSTRICKER, T. H. D.; SILVA, F. W. L. Sorção de óleo cru e derivados do petróleo por diferentes fibras vegetais. **Petro & Química**, p. 71-76. 2005. Disponível em: https://www.ufrgs.br/gcomp/imagens/pdfs/sorcao_de_oleo.pdf. Acesso em: 14 maio 2025.

BARBOSA, A. de M. *et al.* Caracterização de partículas de açaí visando seu potencial uso na construção civil. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 24, n. 3, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190003.0750>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/gXWgf5vhc7Y6fqWNj7W9dwQ/?lang=pt>. Acesso em: 14 maio 2025.

BEGUM, H. A.; TANNI, T. R.; SHAHID, M. A. Analysis of Water Absorption of Different Natural Fibers. **Journal of Textile Science and Technology**, v. 07, n. 04, p. 152–160, 2021.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 32 – Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde**. Brasília: MTE.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 25 – Resíduos Industriais**. Brasília: MTE, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Anuário da Cerveja 2023**. Brasília, DF: MAPA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>. Acesso em: 28 jan. 2026.

CÉLINO, A.; FRÉOUR, S.; JACQUEMIN, F.; CASARI, P. The hygroscopic behavior of plant fibers: a review. **Frontiers in Chemistry**, v. 1, 24 jan. 2014. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3982556/>. Acesso em: 14 maio 2025.

COLETTI, G. F. **Mercado de bebidas no Brasil e no mundo**. Editora Senac. São Paulo, 1ed. 2022

ELIJAH, A. A. A Review of the Petroleum Hydrocarbons Contamination of Soil, Water and Air and the Available Remediation Techniques, Taking into Consideration the Sustainable Development Goals. **Earthline Journal of Chemical Sciences**, v. 7, n. 1, p. 97–113, 9 jan. 2022.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA CERVEJA (SINDICERV). **Relatório de Produção e Mercado: Ano Base 2023**. São Paulo: Sindicerv, 2024.

KAUR, V. *et al.* Oil spill cleanup: A review. **International Journal of Science and Research Archive**, v. 12, n. 2, p. 2737–2754, 2024.

MASSARDI, M. M.; MASSINI, R. M. M.; SILVA, D. de J. Caracterização química do bagaço de malte e avaliação do seu potencial para obtenção de produtos de valor agregado. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 6, n. 1, p. 1, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/9418>. Acesso em: 14 maio 2025.

PAUL-LOUP P.; VILLAIN-GAMBIER, M.; TRÉBOUET, D. By-Product Valorization as a Means for the Brewing Industry to Move toward a Circular Bioeconomy. **Sustainability**, v. 16, n. 8, p. 3472–3472, 21 abr. 2024.

ROSA, C. N. Estudo sobre derramamentos de óleos nas vias públicas e seus impactos no meio ambiente. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**. São Paulo, v.8, n.6, 2022.

SANTOS, M. M.; PASOLINI, F. S.; COSTA, A. P. O. Caracterização físico-química do caroço e da fibra do açaí (*Euterpe oleracea* mart.) via métodos clássicos e instrumentais. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 9, n. 2, p. 143–160, 2023. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.47456/bjpe.v9i2.40688>. Acesso em: 14 maio 2025.

TOMBINI, C. *et al.* High-dietary fibers cereal bars containing malt bagasse by-product from the brewing industry. **Journal of Food Science and Technology**, v. 61, n. 7, p. 1326–1333, 15 dez. 2023.

VIVIAN, M. A., SANTOS, J. R. S., SEGURA, T. E. S., SILVA JÚNIOR, F. G., BRITO, J. O. Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar e suas potencialidades para geração de energia e polpa celulósica. **Madera y Bosques**, v. 28, n. 1, 10 set. 2022.

ZHANG, T., LI, Z. D., LÜ, Y. F., LIU, Y., YANG, D., LI, Q., QIU, F. Recent progress and future prospects of oil-absorbing materials. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 27, p. 1282–1295. 2019.

ZHANG, Y. *et al.* Effects of drying process on the microstructure and properties of pomelo peel-derived porous carbon. **Ceramics International**, v. 48, n. 22, p. 32742–32751, 15 nov. 2022. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272884222012883>. Acesso em: 20 fev. 2025.