



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA E QUÍMICA INDUSTRIAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM BACHARELADO EM QUÍMICA INDUSTRIAL**

EMILLY VITORIA GOMES MOREIRA

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM E BIOSSORÇÃO DE GASOLINA
UTILIZANDO
BAGAÇO DE MALTE**

**CAMPINA GRANDE - PB
2024**

EMILLY VITORIA GOMES MOREIRA

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM E BIOSSORÇÃO DE GASOLINA
UTILIZANDO
BAGAÇO DE MALTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento do Curso de Bacharelado em Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Adsorção.

Orientadora: Profa. Dra. Marcia Ramos Luiz

**CAMPINA GRANDE - PB
2024**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

M838a Moreira, Emilly Vitoria Gomes.

Avaliação do processo de secagem e bioissorção de gasolina utilizando bagaço de malte [manuscrito] / Emilly Vitoria Gomes Moreira. - 2024.

30 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2024.

"Orientação : Profa. Dra. Marcia Ramos Luiz , Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT. "

1. Resíduo . 2. Secagem convectiva . 3. Leito diferencial .

4. Bagaço de malte . I. Título

21. ed. CDD 660

EMILLY VITORIA GOMES MOREIRA

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM E BIOSSORÇÃO DE GASOLINA
UTILIZANDO
BAGAÇO DE MALTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento do Curso de Bacharelado em Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química Industrial.

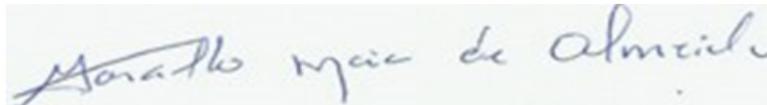
Área de concentração: Adsorção.

Aprovada em:03/07/2024.

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Marcia Ramos Luiz (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Marcello Maia de Almeida
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Pablicia Oliveira Galdino
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

RESUMO

Há uma grande geração de resíduos agroindustriais, que são descartados de forma indevida e sem o aproveitamento adequado. Por isso, a preocupação com o impacto ambiental causado por esses resíduos. Um dos resíduos gerados pela indústria cervejeira é o bagaço de malte, podendo este ser utilizado como bioadsorvente. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo principal utilizar o bagaço de malte para o processo adsorptivo, verificando a influência do processo de secagem. O processo de secagem do resíduo foi necessário para analisar a melhor temperatura que se adequa ao material para utilizar no processo de adsorção em leito diferencial, analisando o seu potencial como adsorvente para a remoção de contaminante em solução aquosa. A secagem convectiva foi realizada utilizando um planejamento fatorial completo com três repetições no ponto central. As variáveis independentes foram a temperatura do ar de secagem de 50, 60 e 70°C e variação de massa nas amostras 100, 200 e 300g. A variável dependente foi a constante de secagem obtida nos modelos matemáticos de Midilli, Page, Arrhenius, Newton e Herderson e Pabis utilizados para representar os dados experimentais. Para o processo adsorptivo foi utilizado um protótipo para simular um corpo d'água intitulado de leito diferencial. Foram realizadas três amostras de concentrações diferentes de água/gasolina com variação de 5,0, 7,5 e 10% do agente contaminante, em seguida, adicionou-se o bagaço seco durante 60 minutos. Os resultados obtidos verificaram que há influência da temperatura no tempo de secagem observamos que o coeficiente de determinação apresenta valores muito próximos para os modelos utilizados em média 0,99. Desta forma, optou-se em utilizar o modelo de Page para avaliação da constante de secagem. No sistema de leito diferencial, o bagaço se mostrou eficiente evidenciando o bom desempenho do bagaço de malte como adsorvente, com capacidade de adsorver mais de 90% do contaminante.

Palavras-Chave: resíduo; secagem convectiva; leito diferencial; bagaço de malte.

ABSTRACT

There is a large generation of agro-industrial waste, which is discarded improperly and without adequate use. Therefore, there is concern about the environmental impact caused by this waste. One of the residues generated by the brewing industry is malt bagasse, which can be used as a bioadsorbent. In this context, this work's main objective is to use malt bagasse for the adsorptive process, verifying the influence of the drying process. The elimination drying process was necessary to analyze the best temperature that suits the material to use in the differential bed adsorption process, analyzing its potential as an adsorbent for the removal of contaminants in aqueous solution. Convective drying was performed using a full factorial design with three replications at the central point. The independent variables were the drying air temperature of 50, 60 and 70°C and mass variation in the 100, 200 and 300g samples. The dependent variable was the constant for obtaining the mathematical models of Midilli, Page, Arrhenius, Newton and Herderson and Pabis used to represent the experimental data. For the adsorptive process, a prototype was used to simulate a published body of water with a differential bed. Three samples of different concentrations of water/gasoline were taken with variations of 5.0, 7.5 and 10% of the contaminating agent, then the dried bagasse was added for 60 minutes. The results obtained verified that there is an influence of temperature on drying time. We observed that the coefficient of determination presents very close values for the models used, on average 0.99. Therefore, we chose to use the Page model to evaluate the drying constant. In the differential bed system, the bagasse proved to be efficient, demonstrating the good performance of malt bagasse as an adsorbent, with the capacity to adsorb more than 90% of the contaminant.

Keywords: destruction; convective drying; differentiated bed; malt pomace.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	6
2	OBJETIVO.....	8
2.1	Objetivo Geral.....	8
2.2	Objetivos Específicos.....	8
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
3.1	Resíduos Agroindustriais no Brasil	9
3.2	Reutilização de Resíduos de Alimentos.....	9
3.3	Bagaçõ de Malte e suas Propriedades.....	10
3.4	Cinética de Secagem.....	10
3.5	Modelos Matemáticos.....	11
3.6	Biossorção	13
3.6.1	<i>Bagaçõ de Malte como Adsorvente</i>	13
3.7	Estado da Arte.....	14
4	METODOLOGIA.....	17
4.1	Matéria prima	17
4.2	Procedimento experimental.....	17
4.2.1	<i>Determinaçãõ de umidade</i>	17
4.2.2	<i>Planejamento Experimental</i>	17
4.2.3	<i>Secagem Convectiva</i>	18
4.2.4	<i>Modelos Matemáticos</i>	19
4.2.5	<i>Adsorçãõ em Leito Diferencial</i>	19
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
5.1	Umidade.....	22
5.2	Cinética de Secagem.....	22
5.3	Modelos Matemáticos.....	23
5.4	Adsorçãõ em Leito Diferencial.....	25
6	CONCLUSÃÕ.....	27
	REFERÊNCIAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

Com a globalização e o rápido crescimento populacional, surge a necessidade da exploração de mais recursos naturais, gerando uma sobrecarga no meio ambiente devido à alta demanda de produtos. Com essa produção em grande escala, surge de imediato um acúmulo de resíduos em excesso, que por muitas das vezes são descartados de forma incorreta. Estes resíduos podem ser orgânicos ou inorgânicos, com cadeias de alto ou baixo peso molecular (Costa Filho et al., 2017).

A indústria cervejeira é responsável pela geração de uma grande quantidade de efluentes, sendo o bagaço de malte um subproduto que possui características físicas e químicas que o tornam um candidato ideal para processos de biossorção. Além de ser um material de baixo custo e de fácil obtenção, o bagaço de malte contém uma matriz fibrosa e com característica porosa, rica em celulose, hemicelulose e lignina, que podem atuar como sítios de adsorção para moléculas orgânicas (Massardi et al., 2020).

A descoberta de novas tecnologias que venham a substituir o uso de produtos advindos do petróleo, como uma forma de minimizar o impacto ambiental, já são bastante visadas. Há uma busca por novas alternativas viáveis e econômicas, que venham a transformar resíduos em produtos valiosos (Arantes, 2022).

O bagaço de malte, em suas condições originais, possui baixo valor agregado e um grande teor de umidade. Por isso, surge a necessidade do processo de secagem para esse resíduo, que remove de forma eficiente uma grande quantidade de água presente, garantindo melhor conservação e aplicação na indústria (Pinto; Freire, 2019).

O processo de secagem do bagaço de malte é uma etapa crucial para sua utilização como adsorvente. A secagem adequada reduz o teor de umidade, inibe a atividade microbiana e preserva as características físicas e químicas do material.

A modelagem matemática é essencial para descrever e prever o comportamento de remoção de umidade em materiais como o bagaço de malte. Utilizando equações é possível relacionar o conteúdo de umidade com o tempo, modelos como o de Newton, Page, e Henderson e Pabis permitem determinar parâmetros, como a constante de taxa de secagem, que são fundamentais para otimizar o processo de secagem. A precisão desses modelos é avaliada através de ajustes aos dados experimentais, proporcionando uma compreensão eficiente dos

mecanismos de secagem e facilitando a operação de processos industriais (Gaia; Rodrigues, 2023).

A biossorção oferece diversas combinações potenciais para a utilização de diferentes biomassas na adsorção de contaminantes específicos. É essencial que a eficiência da biomassa seja avaliada em relação ao tempo necessário para o processo de biossorção, assim como o custo envolvido, disponibilidade e capacidade de reutilização (Ribas; Silva, 2022).

A biossorção representa uma evolução do método de adsorção, oferecendo uma alternativa mais econômica e ambientalmente amigável. A biossorção difere da adsorção principalmente pela natureza dos materiais utilizados e pelos processos envolvidos. Enquanto a adsorção tradicional geralmente usa materiais sintéticos ou minerais para capturar compostos de uma solução, a biossorção utiliza biomassa, como microrganismos, algas, resíduos agrícolas ou industriais, para o mesmo fim (Alvim, 2022).

Nessas circunstâncias o trabalho apresentado visa avaliar a eficiência do bagaço de malte no processo de biossorção de gasolina. Para isso, será investigado o efeito da secagem do bagaço de malte nas suas propriedades adsorventes, bem como a capacidade de remoção de componentes da gasolina presentes em soluções aquosas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Explorar o potencial de reaproveitamento do bagaço de malte como bioadsorvente.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar a secagem do bagaço de malte em secagem com circulação de ar em camada fina.
- Ajustar os modelos matemáticos aos dados experimentais da cinética de secagem.
- Analisar a capacidade de adsorção do resíduo.
- Descrever o comportamento em leito diferencial do bagaço de malte para o processo adsortivo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Resíduos Agroindustriais no Brasil

É notória a importância do setor agroindustrial no Brasil, produzindo toneladas de produtos e como resultado várias toneladas de subprodutos, conhecidas como resíduos, sendo estas cascas, sementes e bagaços, que são gerados durante o processo de produção.

Esses resíduos provêm, principalmente, das indústrias de alimentos de processamento de bebidas, descascamento ou secagem de alimentos, extração de óleo, doces e geleias. Na maioria das vezes esses resíduos não são reutilizados e muitos dos casos desprezados em lugares inapropriados e assim prejudicando o meio ambiente (Ceregatti, 2022).

A agroindústria apresenta três características essenciais de suas matérias-primas, a sazonalidade, a perecibilidade e a heterogeneidade. Destes são derivados diversos produtos, como insumos químicos para a própria agroindústria, energia, biocombustíveis e alimentos, tanto para consumo humano como para animais. Estas produções, sejam eles em estado líquido como biocombustíveis, sólidos lignocelulósicos ou gasoso geram resíduos (Vaz Júnior, 2022).

Todo alimento processado gera toneladas de produtos residuais que precisam de abordagens mais inteligentes a fim de reduzir os impactos ambientais gerados. Estes resíduos podem ser utilizados em uma economia circular como fonte renovável de matéria-prima para produção de materiais bioecológicos (Vaz Júnior, 2020).

3.2 Reutilização de Resíduos de Alimentos

Os resíduos, principalmente, oriundos da indústria alimentícia, possuem alto teor de carboidratos e proteínas, além de outras propriedades, podendo ser utilizados em vários setores industriais (Pereira, 2019).

Busca-se métodos de reutilização dos resíduos orgânicos, sendo necessário um devido descarte e processamento desses subprodutos, para que dessa forma seja possível o máximo aproveitamento destes materiais (Ricardino et al., 2020).

A reutilização de resíduos derivados da agroindústria, quando feita de forma correta trazem inúmeros benefícios ao meio ambiente. Um material fortemente

usado nesse sentido de reaproveitamento é o filme biodegradável, por não causar tanto impacto ao meio ambiente (Rodrigues, 2020).

Para que os resíduos agroindustriais sejam reutilizados de maneira efetivamente correta é necessário uniformizar a qualidade deles, como também a aplicação de uma gestão eficiente garantindo um transporte apropriado e de baixo custo. Apesar dos materiais serem biodegradáveis é necessário alguns cuidados na hora do seu descarte, às vezes os mesmos não podem ser encaminhados à compostagem, comprometendo a sua degradação (Sá, 2021).

3.3 Bagaço de Malte e suas Propriedades

De acordo com Rech e Zorzan (2017), as indústrias cervejeiras estão entre as produtoras de alimentos que geram muitos resíduos, devido à grande demanda em sua produção, como também, a disponibilidade de matéria-prima para a sua produção o ano inteiro. O bagaço de malte é o resíduo gerado após a produção da cerveja, na maioria das vezes esse rejeito é utilizado na alimentação de animais ruminantes.

O bagaço do malte pode ser caracterizado como um material úmido e representa, aproximadamente, 85% dos resíduos derivados da produção das indústrias cervejeiras. Segundo análises, a cada cem litros de cerveja produzidos é gerado cerca de 20kg de bagaço de malte. O Brasil por ser um dos maiores consumidores de cerveja no mundo gera uma quantidade enorme de bagaço de malte, que acabam sendo descartados de forma inadequada, causando danos ambientais (Leite; Souza, 2019).

O bagaço de malte possui composição fibrosa e após seu cozimento pode ser obtido outro tipo de subproduto, o trub quente, resultado da coagulação das proteínas (Kubaski; Ito, 2017). A capacidade do bagaço de malte como insumo na fabricação de novos materiais é imprescindível para o meio ambiente (Castro-Criado et al., 2023).

3.4 Cinética de Secagem

O método de secagem remove água com a finalidade conservar as propriedades naturais e pode ser realizado de forma natural ou artificial. A secagem natural ocorre por meio da exposição do produto ao ar e à radiação solar. Já a

secagem artificial ocorre por meio de equipamentos com controle das propriedades do ar de secagem.

Alguns fatores influenciam o processo de secagem, como a temperatura, quando maior mais rápido será o processo; a velocidade do ar, pois transfere a umidade do produto para o ar de secagem, fazendo o processo de transferência de calor. Outro fator importante é a pressão que induz a relação de equilíbrio da água, assim como a umidade relativa, que é capaz de determinar o teor de umidade alcançado no final do processo (Di Domenico; Conrad., 2015).

A cinética de secagem do produto é considerada essencial para a simulação dos secadores e o projeto como um todo, pois é capaz de indicar a facilidade com que água sai de um produto, que está em condições específicas (Brito, 2022).

Os dados experimentais gerados durante a secagem do material podem ser representados por curvas que mostram a relação entre a umidade do material e o tempo de secagem. Fornecendo informações valiosas sobre como o material se comporta durante o processo de secagem, permitindo ajustes nos parâmetros de secagem para otimizar a eficiência e a qualidade do produto (Mendonça et al., 2015).

As curvas de cinética de secagem são representações gráficas, que incluem dois períodos principais, o período de taxa constante, onde a remoção de umidade ocorre a uma taxa linear devido à evaporação da superfície livre de água, e o período de taxa decrescente, caracterizado por uma curva exponencial onde a umidade residual é removida mais lentamente à medida que a água deve difundir do interior do material para a superfície (Araújo et al., 2021).

3.5 Modelos Matemáticos

O princípio da modelagem se baseia na formulação de um conjunto de equações matemáticas que detalham completamente o sistema em estudo. A solução dessas equações permite prever os parâmetros do processo ao longo do tempo de secagem, considerando condições iniciais, de contorno e simplificações necessárias. Para realizar a simulação do processo de secagem são necessários dados de saída específicos. Inicialmente, na modelagem matemática, define-se claramente o processo a ser analisado, descrevendo os dados de entrada que impactam o processo e as variáveis dependentes que caracterizam seu comportamento (Brito, 2022).

De acordo com Oliveira et al. (2020), os modelos matemáticos são categorizados em três tipos principais:

- Empíricos: que estabelecem uma relação entre o teor de umidade e o tempo de secagem com base em dados experimentais coletados em diferentes temperaturas, porém não consideram os processos fundamentais durante o processo de secagem.
- Semiempíricos: conhecidos como leis exponenciais de secagem, são formulados de acordo com a analogia da lei de resfriamento de Newton, onde a taxa de secagem é proporcional à diferença entre o teor de umidade atual e o teor de umidade de equilíbrio. Os modelos semiempíricos estabelecem uma conexão entre teoria e prática, embora não abarque toda a complexidade do fenômeno.
- Teóricos: estes incorporam o transporte de calor e massa dentro do produto, levando em conta as propriedades termofísicas do material a ser secado e sua dependência em relação à temperatura e ao teor de umidade

Os modelos semiempíricos consideram-se condições isotérmicas e a resistência à transferência de umidade se limita à superfície do produto. Esses modelos são comumente empregados na modelagem da secagem de produtos agroalimentares. Exemplos de modelos matemáticos incluem o modelo de Dois Termos, o modelo de Henderson e Pabis, o modelo de Lewis, o modelo de Page e o modelo de Page Modificado (Domenico; Conrad, 2015).

Tabela 1 – Modelos matemáticos utilizados para descrever a cinética de secagem.

Modelo	Equação
Page	$RU = \exp(-k.t^n)$
Midilli	$RU = a.\exp(-k.t^n) + b.t$
Newton	$RU = \exp(-k.t)$
Henderson e Pabis	$RU = a.\exp(-k.t)$
Arrhenius	$D = D_0.\exp(E_a/R.T_a)$

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Em que:

RU: razão de umidade do produto, adimensional.

T: tempo de secagem (s).

k: constante de secagem.

A, b, n: coeficientes dos modelos.

D: coeficiente de difusão líquida efetiva, $m^2.s^{-1}$.

D_0 : fator pré-exponencial.

E_a : energia de ativação ($kJ.mol^{-1}$).

R: constante universal dos gases ($8,314 kJ.kmol^{-1}.K^{-1}$).

T_a : temperatura absoluta (K).

O modelo de Page é uma equação empírica usada para descrever a cinética de secagem de diversos materiais. Ele é uma modificação do modelo de Newton e oferece uma melhor descrição para certos tipos de processos de secagem.

A constante (k) é fundamental no modelo de Page, pois indica a taxa de secagem do material. Valores mais altos de (k) correspondem a uma taxa de secagem mais rápida.

3.6 Biossorção

A biossorção é uma técnica promissora e alternativa para a remoção de poluentes orgânicos, diferenciando-se das abordagens convencionais utilizadas no tratamento de águas que são residuais. Os estudos demonstram que os biossorbentes apresentam alta seletividade na remoção de diversos tipos de poluentes orgânicos. Isso é analisado por meio do estudo do equilíbrio e de cinética de adsorção, permitindo uma compreensão mais profunda do mecanismo envolvido no processo de biossorção (Ribas; Silva, 2022).

Os materiais utilizados para realizar a biossorção são conhecidos como biossorbentes. Um desses materiais é o bagaço do malte, o qual representa uma alternativa viável para o tratamento de efluentes (Barros; Carvalho; Ribeiro, 2017).

3.6.1 Bagaço de Malte como Adsorvente

Com o avanço da tecnologia e o crescimento do setor industrial, a sociedade obteve enormes benefícios, abrangendo uma diversidade de produtos que tornaram o dia a dia mais fácil. Porém, com a ampliação do setor industrial ocorre o impacto

ambiental causado por esse processo, gerando um grande acúmulo de resíduos. Nesse contexto, surge a necessidade de medidas que venham a contribuir para o tratamento desses efluentes gerados pelas indústrias (Correia et al., 2020).

O bagaço de malte após o processo de secagem, possui uma grande aplicabilidade para processos de descontaminação ambiental, por meio do procedimento de adsorção, sendo assim possível a retirada de uma grande quantidade de efluentes, como derivados do petróleo e corantes em águas contaminadas (Castro; Meure; Colpini., 2021).

O processo de adsorção com bagaço de malte é uma técnica viável para a remoção de determinados efluentes em rios e lagos. Essa é uma biomassa formada em grande quantidade na produção de cervejas tanto no ramo artesanal como industrial, na maioria das vezes esse resíduo é descartado ou utilizado como ração animal. Contudo, com o avanço das pesquisas esse material está sendo aprimorado para uso em diversas áreas que venham a contribuir com o meio ambiente (Correia et al., 2020).

O bagaço de malte é promissor como adsorvente, pois possui uma grande disponibilidade em território brasileiro e baixo custo. Com uma pequena quantidade do material é possível retirar uma grande quantidade de efluente em água. A utilização desses resíduos agroindustriais gera um menor impacto ambiental, devido ao seu reaproveitamento (Conceição, 2019).

3.7 Estado da Arte

Sousa (2019) avaliou a influência do processo de secagem da biomassa casca de palma forrageira, quando utilizada como bioadsorvente para remoção de contaminante em corpos d'água, utilizando sistema de adsorção em leito diferencial. Primeiramente, as biomassas foram preparadas e submetidas a dois métodos distintos de secagem: secagem convectiva em estufa a uma temperatura constante de 70°C e secagem natural ao ar livre. No sistema de leito diferencial, foram utilizadas concentrações de 5,0%, 7,5% e 10,0% de gasolina. Os resultados mostraram que a cinética de adsorção da gasolina foi rápida usando a biomassa obtida por ambos os métodos de secagem. As isotermas de equilíbrio indicaram capacidades máximas de adsorção semelhantes, com valores máximos de 8,61g.g⁻¹ e 8,67 g.g⁻¹ para a biomassa seca. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a casca de palma forrageira, tratada por ambos os processos de secagem, é uma

biomassa adsorvente eficaz para a remoção de gasolina presentes em corpos d'água.

Alves et al. (2018) conduziram um estudo sobre a cinética de secagem do bagaço de malte e de abacaxi. Para determinar as cinéticas de secagem, as amostras foram secas em um secador com circulação de ar forçada a uma temperatura de 60°C. Os dados experimentais foram ajustados usando o software Statistica versão 7.0. Os critérios estatísticos empregados na análise dos dados foram o R^2 e o desvio médio relativo. O estudo demonstrou que o processo de secagem foi efetivamente realizado para ambos os resíduos agroindustriais. O modelo matemático de Wang & Sing destacou-se ao apresentar os melhores resultados para as variáveis analisadas em ambos os resíduos. O resíduo de abacaxi mostrou uma umidade maior em comparação com o resíduo de malte. A pesquisa evidenciou a necessidade de uma secagem eficiente desses resíduos para que possam seu reaproveitamento.

Castro et al. (2021) utilizaram o bagaço de malte como adsorvente para a remoção de óleo lubrificante em soluções aquosas. As amostras foram preparadas previamente e secas em estufa. Em seguida, foram realizados dois experimentos nos quais a granulometria do bagaço de malte seco foi variada, determinando-se as melhores condições para o processo de adsorção. Após a adsorção, o adsorvente foi filtrado e seco em estufa, e o teor de lipídios foi determinado pelo método de Goldfish, obtendo-se a capacidade de adsorção. Os experimentos mostraram capacidades de adsorção variando entre 0,64 e 0,79 g de óleo por grama de adsorvente. Esses resultados indicaram que o bagaço de malte pode ser utilizado como material adsorvente para a remoção de resíduos de óleo de corpos d'água contaminados.

Batista (2016) realizou o estudo da secagem do bagaço de malte para estudar a cinética de secagem. Utilizou os modelos matemáticos para descrever o comportamento da cinética de secagem. Os resultados foram bastante significativos para o modelo matemático de Page, adquirindo o melhor ajuste para descrever a função de umidade relativa com o tempo de secagem, alcançando coeficiente de determinação acima de 0,9996. O bagaço de malte seco em termos de umidade final obteve aproximadamente entre 4 a 7,5 (%), indicando uma secagem efetiva para a reutilização do bagaço em diversas áreas de aplicação industrial.

Amorim (2016) analisou o poder adsortivo do bagaço de malte utilizando sistema em leito diferencial, avaliando a isoterma de equilíbrio e cinética de adsorção em 3 experimentos, variando a quantidade de gasolina e água. Para a cinética de adsorção o bagaço adsorveu de forma satisfatória quase 50% do total do seu contaminante. Já na isoterma de equilíbrio obteve-se um resultado satisfatório com capacidade máxima de adsorção de 10,1mL/g. No sistema de leito diferencial foram utilizados três tipos de concentrações, 5% 7,5% e 10%, durante 120 minutos. No final do processo foi avaliado que o bagaço de malte conseguiu adsorver quase todo contaminante no sistema de leito diferencial chegando em uma faixa de 90%. Concluindo que a utilização do bagaço de malte como bioadsorvente, possui uma boa viabilidade devido a seu poder de adsorção e baixo custo do material.

4 METODOLOGIA

4.1 Matéria prima

4.2 Procedimento experimental

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizada como matéria prima o bagaço de malte da produção de uma cervejaria artesanal, localizada em Campina Grande, Paraíba, Brasil. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais, no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba. A gasolina foi utilizada como contaminante e adquirida em posto de combustível local.

4.2.1 Determinação de umidade

O teor de umidade do bagaço de malte foi obtido através da radiação por infravermelho. O experimento foi realizado em base úmida.

4.2.2 Planejamento Experimental

A Tabela 1 apresenta as condições operacionais codificadas utilizadas para realização dos ensaios de secagem. Utilizou-se um planejamento experimental completo 2^2 com três repetições no ponto central. As variáveis independentes consideradas foram a temperatura do ar durante a secagem e a massa do produto. A variável dependente avaliada neste estudo foi a constante de secagem, determinada a partir de modelos empíricos de secagem.

Tabela 1 - Condições operacionais descodificados de secagem do bagaço de malte

Ensaio	T	M	T(°C)	m(g)
01	-1	-1	50	100
02	-1	+1	50	300
03	+1	-1	70	100
04	+1	+1	70	300
05	0	0	60	200
06	0	0	60	200
07	0	0	60	200

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

4.2.3 Secagem Convectiva

A secagem do bagaço de malte foi aplicada de acordo com a metodologia de Batista et al (2018), com temperaturas de 50, 60 e 70°C, com variação de peso nas amostras 100, 200 e 300g em estufa com circulação de ar. O planejamento experimental realizado está descrito na Tabela 2.

Tabela 2 - Condições operacionais de secagem do bagaço de malte

Ensaio	Temperatura (°C)	Massa (g)
01	50	100
02	50	300
03	70	100
04	70	300
05	60	200
06	60	200
07	60	200

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

A secagem convectiva em estufa com circulação de ar foi realizada com intervalos de 15 em 15 minutos, monitorando a perda de peso da amostra com variação do tempo com o uso de uma balança analítica até atingir uma hora. A partir de uma hora, as pesagens começaram a ser realizadas de 30 em 30 minutos. Esse procedimento foi realizado até o peso constante.

A cinética de secagem foi analisada através das curvas do teor de umidade adimensional em relação ao tempo de processo. Os resultados experimentais das cinéticas de secagem foram utilizados para ajustar modelos matemáticos, visando encontrar a melhor representação dos dados experimentais.

4.2.4 Modelos Matemáticos

Por meio do programa computacional STATISTICA versão 10.0, na versão estudante, fez-se o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais das curvas de secagem. No *software* foi utilizado a análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton. Foram estimados os valores dos parâmetros dos modelos, em função da variável independente tempo de secagem (T) e Razão de umidade (RU). Assim, por meio do programa STATISTICA 10 foi possível obter os parâmetros a, k, b, k0, c, k1, n, d, e R² dos modelos matemáticos.

4.2.5 Adsorção em Leito Diferencial

O procedimento de adsorção em leito diferencial foi realizado a partir de três experimentos com concentrações diferentes, variando os volumes de gasolina e da água. A Tabela 3 apresenta as condições operacionais usadas na realização dos ensaios de adsorção, sendo estas baseadas em Amorim (2016).

Tabela 3 - Variação da concentração do leito diferencial.

Concentração (%)	Gasolina (L)	Água (L)
5,0	0,10	1,90
7,5	0,15	1,85
10,0	0,20	1,80

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Inicialmente, o bagaço de malte previamente seco na temperatura de 60°C foi utilizado para realizar o experimento no leito diferencial. Na primeira etapa do experimento, padronizou-se, na tela, uma camada fina de bagaço de malte seco com espessura de 3mm. Na Figura 1 é há uma descrição visual do procedimento realizado com paquímetro digital.

Figura 1 - Tela com camada de bagaço de malte em camada fina.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Em um reservatório de vidro foram adicionadas água e gasolina, de acordo com as concentrações definidas na Tabela 3, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Mistura de água e gasolina



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Em seguida, foi fixada a tela ao reservatório com a solução água e gasolina (Figura 3), com tempo decorrido de contato de 60 minutos. Após atingir o tempo estabelecido, a tela foi retirada e aferido o volume restante da gasolina em uma proveta, para a determinação da quantidade de contaminante adsorvida.

Figura 3 - Contato do bagaço de malte com água e gasolina.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

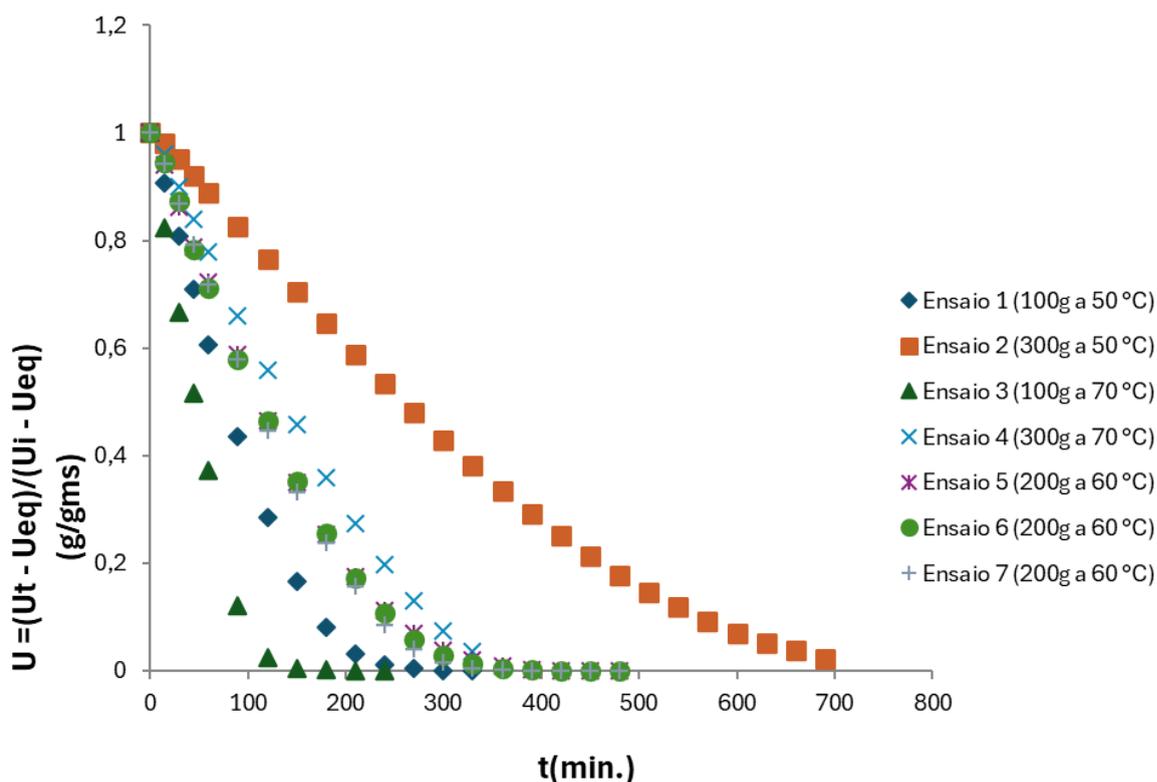
5.1 Umidade

O bagaço de malte apresentou $76,77\% \pm 0,65\%$ de umidade em base úmida. Morosini (2018) em sua pesquisa encontrou o valor de umidade do bagaço de malte em $74,54\% \pm 3,71\%$. Evidenciando que o resultado apresentado corrobora com a literatura.

5.2 Cinética de Secagem

Na Figura 4 constam as curvas da cinética de secagem com variações das condições de massa e temperatura.

Figura 4 - Cinética de Secagem do bagaço de malte com variação de temperatura.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Observa-se que na medida que ocorre o aumento da temperatura a transferência de massa é beneficiada, assim diminuindo o tempo de secagem. Na pesquisa da cinética de secagem é possível analisar que o aumento da temperatura favoreceu a transferência de massa, diminuindo a umidade de equilíbrio dinâmico e o tempo de secagem (Teles et al., 2023).

Para o ensaio 02, onde as circunstâncias são as de menor valor de temperatura, a secagem ocorreu lentamente, assim como planejado por Batista et al. (2018). Inicialmente, a amostra passa por um rápido aquecimento, causando a evaporação da água da superfície e resultando em altas taxas de secagem. Pode-se observar claramente que a secagem ocorre apenas no período de taxa decrescente.

Por outro lado, no ensaio 03, em condições com maior temperatura, observa-se que a secagem do resíduo úmido ocorreu mais rapidamente. Batista et al (2016), em seu estudo sobre a cinética de secagem do bagaço de malte, observaram que há uma grande interferência da temperatura ao tempo de secagem. A partir do momento que a temperatura é elevada ocorre uma redução no tempo de secagem do resíduo, alcançando resultados semelhantes aos obtidos neste experimento.

Os ensaios 05, 06 e 07 foram realizados sob as mesmas condições de temperatura e tempo, evidenciando uma boa reprodutibilidade dos dados experimentais, com curvas que praticamente se sobrepõem.

5.3 Modelos Matemáticos

Os modelos matemáticos de Midilli, Page, Arrhenius, Newton e Herderson e Pabis foram utilizados para representar os dados experimentais e podem ser verificados na Tabela 4.

De acordo com a Tabela 4, pode-se observar que o coeficiente de determinação apresenta valores muito próximos para os modelos utilizados em média 0,99. Desta forma, optou-se em utilizar o modelo de Page para avaliação da constante de secagem. O Ensaio 03 no modelo Page, o valor da Constante k obtido foi de 0,00284, se sobressaindo em termos de valores se comparado com os outros ensaios, indicando uma taxa de secagem mais alta.

Batista et al. (2018) obtiveram resultados bastante significativos em sua pesquisa para o modelo matemático de Page e Midilli, obtendo os melhores ajustes para descrever a função de umidade relativa com o tempo de secagem, com coeficiente de determinação acima de 0,9996.

Teles et al. (2023) ao realizarem os experimentos obtiveram resultados bastante significativos para o modelo Page, apresentando coeficiente de determinação no valor de aproximadamente 0,95.

Tabela 4 - Modelos matemáticos utilizados para secagem

MODELO	ENSAIO		PARÂMETROS			R2
	-	a	k	n	b	-
Midilli	1	0,98634	0,00164	1,38814	-0,00005	0,9995
	2	1,01725	0,00101	1,17111	-0,00011	0,9992
	3	0,97874	0,00235	1,48672	-0,00003	0,9995
	4	1,00243	0,00104	1,62183	0,000013	0,9996
	5	0,99082	0,00129	1,33772	-0,00004	0,9995
	6	0,99202	0,00128	1,34117	-0,00004	0,9992
	7	1,25040	0,52146	0,00000		0,9934
Page	-	-	K1	n1	-	-
	1	-	0,00167	1,39341	-	0,9991
	2	-	0,00041	1,34719	-	0,9981
	3	-	0,00284	1,44936	-	0,9982
	4	-	0,00111	1,60447	-	0,9996
	5	-	0,00113	1,37267	-	0,9992
	6	-	0,00112	1,37661	-	0,9989
Newton	-	-	K2	-	-	-
	1	-	0,01042	-	-	0,9987
	2	-	0,00320	-	-	0,9983
	3	-	0,01773	-	-	0,9986
	4	-	0,01435	-	-	0,9927
	5	-	0,00743	-	-	0,9885
	6	-	0,00750	-	-	0,9879
Arrhenius	-	Di	Eat	-	-	-
	1	1,07887	0,09386	-	-	0,9907
	2	1,08886	0,02902	-	-	0,9885
	3	1,06177	0,15662	-	-	0,9889
	4	1,10281	0,13184	-	-	0,9876
	5	1,08080	0,06695	-	-	0,9921
	6	1,08393	0,06776	-	-	0,9917
Henderson e Pabis	-	a1	k3	-	-	-
	1	1,07887	0,01129	-	-	0,9907
	2	1,08894	0,00349	-	-	0,9885
	3	1,06177	0,01883	-	-	0,9889
	4	1,10282	0,01585	-	-	0,9876
	5	1,08081	0,00805	-	-	0,9921
	6	1,08394	0,00815	-	-	0,9917
7	1,09122	0,00844	-	-	0,9905	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

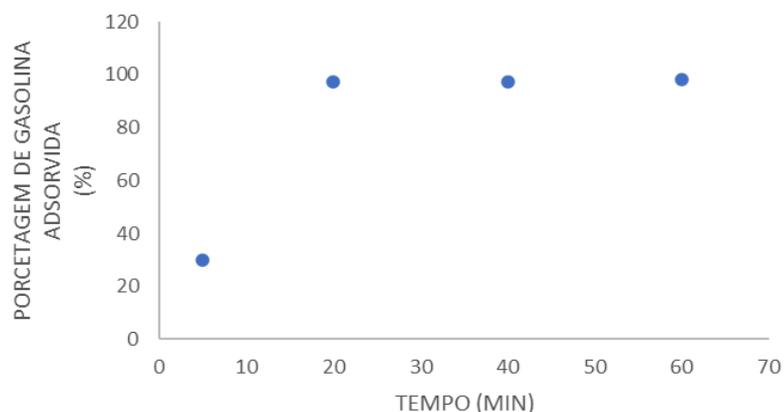
5.4 Adsorção em Leito Diferencial

A partir dos experimentos realizados, utilizando o sistema em leito diferencial, após o tempo de contato da água e gasolina, no volume total da mistura heterogênea, foi possível observar um volume final de gasolina inferior ao inicial de cada amostra, mostrando uma boa adsorção da gasolina com a presença do bagaço de malte. Essa quantificação foi feita através da análise volumétrica, com a utilização de uma proveta graduada.

Nas Figuras 5, 6 e 7 estão representados os dados experimentais em porcentagem de gasolina adsorvida pelo tempo de contato entre o bagaço, água e o contaminante em sistema de leito diferencial.

Na Figura 5 apresenta os experimentos com a concentração de 5,0%, onde observa-se que apresentaram resultados satisfatórios, onde a biomassa absorve quase todo o contaminante observando que com 20 minutos houve uma adsorção de 97,1% e em 60 minutos ocorreu quase total adsorção do contaminante com 98,2%.

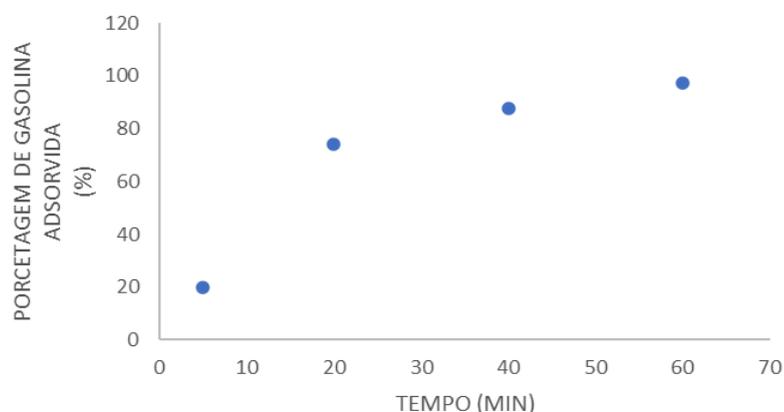
Figura 5 – Adsorção do bagaço de malte em Leito diferencial com concentração de 5,0% do contaminante.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Na Figura 6 apresenta a concentração de 7,5% de gasolina inicial e água, onde observa-se que apresentaram resultados satisfatórios, onde a biomassa adsorve quase todo o contaminante nos primeiros 20 minutos houve uma adsorção de 74,3% e aos 60 minutos 97,5%.

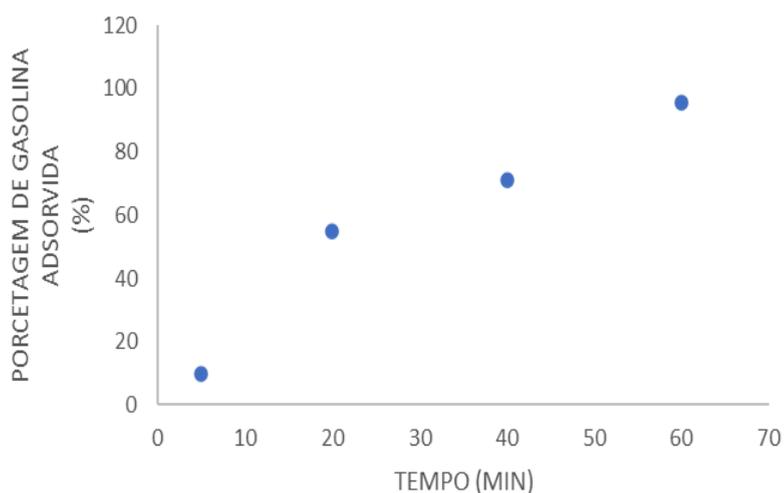
Figura 6 - Adsorção do bagaço de malte em Leito diferencial com concentração de 7,5% do contaminante.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

A Figura 7 apresenta a concentração de 10,0% com gasolina e água, onde observa-se que apresentaram resultados satisfatórios, onde a biomassa adsorve quase todo o contaminante, onde inicialmente a adsorção é baixa pelo fato da maior quantidade de contaminante, em 60 minutos foram 95,7% adsorvidos.

Figura 7 - Adsorção do bagaço de malte em Leito diferencial com concentração de 10,0% do contaminante.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Amorim (2016) obteve valores próximos ao experimento realizado, evidenciando a boa aplicabilidade do bagaço de malte como um bom adsorvente de compostos orgânicos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O bagaço de malte apresenta um grande potencial para aplicações ambientais e industriais. Este resíduo rico em fibras é um excelente candidato para a produção de materiais adsorventes.

O resíduo analisado apresentou 74,54% de umidade, constatando a grande importância do processo de secagem desse material.

Foi possível determinar as curvas de cinética de secagem comprovando que os resultados obtidos influenciaram a temperatura de secagem, constatou-se também, o comportamento das curvas nas temperaturas e massas específicas.

A adsorção em leito diferencial se mostrou eficiente evidenciando o bom desempenho do bagaço de malte como adsorvente, com capacidade de adsorver mais de 90% do contaminante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, Sílvio & Silva, Mariana & Almeida, Francisco & DANTAS, Cybelle & Viana, Arianne & Freire, Kristerson. (2018). Estudo da Cinética de Secagem do Resíduo Bagaço de Malte e do Resíduo de Abacaxi. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**. v. 8, n. 3 p. 48 - 52. 2018.
- ALVIM, B. D. **Avaliação do potencial de emprego do bagaço de malte como matéria prima para obtenção de produtos de valor agregado: uma proposta de um processo industrial baseada na revisão da literatura**. 2022. 91F. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Bioquímica) - Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de Lorena, Lorena - SP, 2022.
- AMORIM, F. V. **Estudo do Poder Adsorptivo do Resíduo Gerado na Produção de Cerveja Utilizando Sistema em Leito Diferencial**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharelado Química Industrial - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande – PB, 2016.
- ARANTES, G. C. A. **Utilização Do Bagaço De Malte Para Preparação De Biomateriais: Uma Proposta De Economia Circular Ao Setor Cervejeiro**. 2022. 43F. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em química tecnológica) - Universidade De Brasília. Brasília – DF, 2022.
- ARAÚJO, K. T. A. Cinética de secagem e determinação do coeficiente de difusão efetivo de polpas de noni e umbu. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 4, p. 1-13, 2021.
- BATISTA, E. A.; et al. Estudo do Processo de Secagem do Resíduo de Malte Gerado na Produção de Cerveja. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC. **Anais eletrônicos**, Maceió, Alagoas, 2018.
- BARROS, D. C.; CARVALHO, G.; RIBEIRO, M. A. Processo de Biossorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão. **Revista de Biotecnologia & Ciência**. v. 6 n. 1., 2017.
- BATISTA, E. A. **Estudo do Processo de Secagem do Resíduo de Malte Gerado na Produção de Cerveja**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial. Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual da Paraíba, 2016.
- BRITO, Brenda Tudrei de. **Modelagem matemática de curvas típicas de secagem de frutas tropicais**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química Tecnológica) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022
- CASTRO, L. E. N.; MEURER, F.; COLPINI, L. M. S. Estudo da aplicação de bagaço de malte como adsorvente para remoção de óleo lubrificante em meio aquoso / Estudo da aplicação de bagaço de cerveja como adsorvente para remoção de óleo lubrificante em meio aquoso. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 7, n.12, p. 120522–120527, 2021.
- CASTRO-CRIADO, D.; et al. Stabilization and Valorization of Beer Bagasse to Obtain Bioplastics. **Polymers**, v. 15, n. 1877, p. 1-14, 2023.
- CEREGATTI, G. **Valorização De Resíduos Agroindustriais Na Forma De Produtos Com Alto Valor Nutricional**. 2022. 34F. Trabalho de Conclusão de Curso

(Graduação em engenharia de Alimentos) - Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2022.

CONCEIÇÃO, P. C. G. et al. Utilização Do Resíduo Do Bagaço De Malte Na Síntese De Carvão Ativado Para Adsorção De Beta-Lactoglobulina. In: ANAIS DO XXXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 2019, Belém. **Anais eletrônicos**, Campinas, Galoá, 2019.

CORREIA, L. F. et al. Aproveitamento do bagaço de malte como adsorvente para a remoção do corante azul de metileno. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-18, 2020.

COSTA FILHO, D. V; et al. Aproveitamento de resíduos agroindustriais na elaboração de subprodutos. In: **II Congresso Internacional das Ciências Agrárias COINTER-PDVAgro 2017**. ISSN: 2526-7701.Oral. João Pessoa: Pernambuco, 2017, p. 1–8, 2017.

DI DOMENICO, C. N. B.; CONRAD, T. M. Simulação de processos de secagem. **Eletrônica de Extensão da URI**. Vol. 11, N. 20, p. 134-146, 2015.

GAIA, F. L; RODRIGUES, J. W. L. **Modelagem matemática da cinética de secagem de duas variedades de cacau cultivados na região amazônica brasileira**. 2023. 40F. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural da Amazônia. Tomé-Açu - Pa, 2023.

KUBASKI L.; ITO, P. B. **Desenvolvimento De Embalagem Biodegradável A Partir De Resíduos Da Indústria De Batata E Cerveja**. 2017. 45F. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. Ponta Grossa - PR, 2017.

LEITE, L. A. S; SOUZA, B. Caracterização Do Bagaço De Malte E Suas Possíveis Aplicações Na Alimentação. **Anais do Congresso Nacional de Alimentos e Nutrição**. Ouro Preto - MG, Centro de Artes e Convenções da UFOP, 2019.

MASSARDI, M. M; et al. 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. 0083–0091, 2020.

MENDONÇA, A. P; et al. Determinação das curvas de secagem das sementes de andiroba em secador solar. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 382–387, 2015.

MOROSINI, B. L; BORTOLUZZI, J. N; MÜLLER, T. R. **Influência da Secagem do Bagaço de Malte Sobre o Conteúdo Total de Composto Fenólicos e Atividade Antioxidante**. 2018. 42F. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Agroindústria) - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA. São Miguel do Oeste - SC, 2018.

OLIVEIRA, A. C. S.; BORGES, S. V. Poli (Ácido Lático) Aplicado para Embalagens de Alimentos: Uma Revisão. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 15, n. 1, p. 1-10, 2020.

PEREIRA, N. T. **Produção de Ácido Lático com Resíduos Agroindustriais: Uma Revisão da Literatura**. 2019. 77F. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Porto Alegre - RS, 2019.

PINTO, G. H. A.; FREIRE, F. B.; "Secagem de bagaço de malte em drageadeira: influência das condições operacionais e ajuste das curvas da cinética de secagem." **Anais do Simpósio Comemorativo 40 Anos da Área de Sistemas Particulados DEQ/UFSCar**, p. 685-691, 2019.

RECH, K. P. M.; ZORZAN, V. **Aproveitamento De Resíduos Da Indústria Cervejeira Na Elaboração De Cupcake**. 2017. 44f. Trabalho De Conclusão De Curso (Graduação Em Tecnologia Dos Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. Francisco Beltrão - PR, 2017.

RIBAS, F. B. T., & Silva, W. L. da. (2022). Biossorção: uma revisão sobre métodos alternativos promissores no tratamento de águas residuais. **Matéria** (rio De Janeiro), v. 2, n.27, p.13212.

RICARDINO, I. E. F; *et al.* Vantagens E Possibilidades Do Reaproveitamento De Resíduos Agroindustriais. **Revista Científica de Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 1, n. 8 , p. 1-25, 2020.

RODRIGUES, N. H. P. **Embalagem De Espuma À Base De Amido Desenvolvida A Partir De Subproduto Da Industrialização Da Batata (*Solanum Tuberosum L.*)**. 2020. 100F. Tese. Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. Ponta Grossa - PR, 2020.

SÁ, N. **Utilização de resíduos agroindustriais para produção de polímeros, materiais e embalagens**. 2021. 46F. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Porto Alegre - RS, 2021.

SOUZA, R. A. **Estudo da influência do processo de secagem da biomassa casca de palma forrageira (*Opuntia fícus*) na remoção de gasolina em corpos d'água, utilizando o sistema de adsorção em leito diferencial**. 2019. 48F. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos) - Universidade Federal de Campina Grande. Sumé -PB, 2019.

TELES, TB; LUIZ, SENHOR; TOMAZ, JLF; DE ALMEIDA, MM; DE SOUZA, NC; DE LIMA, CVA; OLIVEIRA, T. da S. Avaliação do processo de secagem de resíduo de malte. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**. [S. [1] , v. 9, n. 2, pág. 7698–7712, 2023.

VAZ JUNIOR, S. Aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma abordagem sustentável. Brasília, DF : **Embrapa**, 2020. (Embrapa Agroenergia).

VAZ JUNIOR, S. Bioeconomia em progresso: resíduos da agroindústria. **EMBRAPA, In: Plataforma Visão de futuro do Agro**, 2022. (Embrapa Megatendência Sustentabilidade).