

Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS CÂMPUS INHUMAS.

LICENCIATURA EM QUÍMICA

Utilização do bagaço de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*), e a casca de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), na adsorção de corantes

Aluno: André Simões Almeida

Orientador: Elaine Alves de Faria Braga

Novembro, 2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Almeida, André Simões

A447 Utilização do bagaço de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*), e a casca de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), na absorção de corantes [Manuscrito]. / André Simões Almeida – Inhumas: IFG, 2026.

19 f.: il.

Inclui bibliografia.

Orientadora: Profa. Dra. Elaine A. Faria Braga,

Trabalho de Conclusão de Curso em Licenciatura em Química – IFG Câmpus Inhumas, 2025.

1. Adsorção. 2. Remoção de corantes. 3. Resíduo agroindustrial. 4. Braga, Elaine A. Faria (orient.). I. Título.

CDD 641.302

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária
Maria Aparecida Rodrigues de Souza - CRB/1-1497
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Câmpus Inhumas – Biblioteca Atena

Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: André Simões Almeida

Matrícula: 20161030020104

Título do Trabalho: Utilização do bagaço de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*), e a casca de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), na adsorção de corantes.

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data 10/_03/_2026 (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2** ou **3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Inhumas, 16/_03/_2026.
Local Data

Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

André Simões Almeida
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS INHUMAS

Almeida, André Simões. "Utilização do bagaço de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*), e a casca de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), na adsorção de corantes". 2025. Trabalho de Conclusão de Curso – Licenciatura em Química – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Inhumas, 2025.

Aprovado em: 05/12/2025

Banca Examinadora

Prof. Dra. Elaine Alves de Faria Braga Instituto Federal de Goiás

Julgamento: APROVADO

Prof. Dr. Marçal Antonio Ruggiero Instituto Federal de Goiás

Julgamento: APROVADO

Profa. Dra. Elisângela C. L. Borges Instituto Federal de Goiás

Julgamento: APROVADO

Documento assinado eletronicamente por:

- Elisângela Cardoso de Lima Borges, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 26/02/2026 15:15:42.
- Marçal Antonio Ruggiero, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 26/02/2026 15:04:04.
- Elaine Alves de Faria Braga, CHEFE - CD4 - INH-DAA, em 26/02/2026 15:00:28.

Este documento foi emitido pelo SIJAP em 26/02/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 749389
Código de Autenticação: 9e424fe627



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Av. Universitária, S/Nº, S/N, Vale das Golubeiras, INHUMAS / GO, CEP 75402-556
(62) 3514-9543 (ramal: 9543)

Resumo

A remoção de corantes por adsorção é uma técnica eficiente, econômica e de fácil operação, amplamente utilizada no tratamento de efluentes industriais, principalmente da indústria têxtil. No entanto, os adsorventes comerciais, como o carvão ativado, apresentam custos elevados, o que estimula a busca por materiais alternativos de baixo custo e alta eficiência. Resíduos agroindustriais, como o bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e a casca de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*), têm sido destacados na literatura devido à sua disponibilidade abundante e composição química favorável, rica em celulose, hemicelulose e lignina, componentes essenciais para a adsorção de corantes. Este estudo avaliou o potencial adsorvente *in natura* desses resíduos para remoção dos corantes sintéticos índigo carmim e vermelho ponceau 4R. Os experimentos de adsorção analisaram a influência da concentração dos corantes, tempo de contato e massa do adsorvente. Resultados indicaram remoções variando entre 83,4% e 99,9%, evidenciando alta eficiência dos bioadsorventes, especialmente em baixas concentrações dos corantes. Os resíduos demonstraram capacidade competitiva em relação a adsorventes comerciais, conforme estudos recentes que também ressaltam o potencial ambiental e econômico desses materiais para tratamento de efluentes. Assim, este trabalho reforça a relevância do aproveitamento sustentável de resíduos agroindustriais como solução viável e promissora para desafios ambientais atuais.

Palavras-chave: Adsorção. Corantes. Alimentícios. Resíduo agroindustrial.

Introdução

A produção mundial de resíduos agroindustriais, estimada em 1,3 bilhão de toneladas anuais pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), reforça a necessidade do aproveitamento sustentável desses materiais, evitando impactos ambientais negativos decorrentes de seu descarte inadequado (Oliveira et al., 2021). No Brasil, a safra de

cana-de-açúcar para o ciclo 2025/2026 é prevista em 663 milhões de toneladas, o que mantém a disponibilidade significativa de bagaço para aplicações diversas (CONAB, 2025).

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), é uma gramínea da família *Poaceae*, originária da Indonésia e Nova Guiné, que se destaca na agroindústria brasileira tanto pela produção de açúcar quanto de biocombustíveis. Durante o processamento industrial, a cana gera o bagaço, um resíduo fibroso que representa aproximadamente 30% da massa da cana processada, do qual uma parcela é utilizada para geração de energia na própria usina (Mendes et al., 2023; CONAB, 2025).

Paralelamente, a mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) é outra cultura de grande importância, cuja casca, constituída pela película e córtex, corresponde a cerca de 6% dos resíduos gerados na produção de farinha (Embrapa, 2018). Esses resíduos agroindustriais apresentam composição química rica em celulose, hemicelulose e lignina, conferindo-lhes propriedades lignocelulósicas que favorecem sua aplicação como adsorventes naturais (Silva et al., 2024; Costa et al., 2021).

O uso desses resíduos como bioadsorventes tem sido amplamente estudado para remoção de corantes sintéticos presentes em efluentes industriais, especialmente da indústria têxtil, que são fontes relevantes de poluição hídrica (Kumar & Singh, 2021; Ferreira & Oliveira, 2023). Diferentemente dos adsorventes comerciais, como carvão ativado, os bioadsorventes de origem lignocelulósica apresentam vantagens como baixo custo, ampla disponibilidade, biodegradabilidade e presença de grupos funcionais que facilitam a interação química com os contaminantes (Zhang & Yang, 2022; Smith & Brown, 2022).

A adsorção é um processo físico-químico em que moléculas de soluto aderem à superfície de um sólido, denominado adsorvente, diferenciando-se da absorção, pois ocorre exclusivamente na interface sólido-fluído (Silva et al., 2024). A elevada porosidade e a área superficial dos resíduos lignocelulósicos são características essenciais para a eficiência na remoção de corantes, como o índigo carmim e o vermelho ponceau 4R, dois corantes amplamente utilizados e que apresentam riscos ambientais significativos quando descartados sem tratamento adequado (Oliveira et al., 2021).

Este trabalho tem como objetivo avaliar o potencial adsorvente do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de mandioca, ambos em *in natura*, para a remoção dos corantes índigo carmim

e vermelho ponceau 4R, buscando oferecer uma alternativa sustentável e economicamente viável para o tratamento de efluentes contaminados por corantes sintéticos.

Materiais e Métodos

A casca de mandioca (película e córtex) foi gentilmente fornecida por feirantes na cidade de Inhumas, Goiás. O bagaço da cana-de-açúcar (BCA) foi obtido na Usina Centro Álcool, também em Inhumas. Ambos os materiais foram inicialmente cortados em pedaços com aproximadamente 1,0 cm de comprimento, visando a obtenção de uma matéria-prima homogênea para a etapa de secagem.

Em seguida, as amostras passaram por lavagem com água corrente em abundância e posteriormente com água destilada, para a remoção de impurezas superficiais. Após a lavagem, os materiais foram secos em estufa com circulação de ar durante 24 horas, a uma temperatura constante de 80 °C.

Os materiais secos foram triturados em moinho de facas, modelo Lipo Willy, e posteriormente peneirados utilizando um conjunto de peneiras com malhas variando entre 10 mesh a 30 mesh, até se obter a menor granulometria possível.

Para caracterizar os constituintes químicos das biomassas utilizadas como adsorventes, foram realizadas análises de espectroscopia no infravermelho, utilizando um espectrômetro Bruker Vertex 70. Os espectros foram obtidos no intervalo espectral de 400 a 4000 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} , resultando da média de 64 varreduras.

O processo de adsorção foi realizado em batelada, sob agitação constante, à temperatura ambiente, durante 12 horas. Utilizou-se um agitador magnético da marca New Lab, modelo, (NL 22801). Para avaliar a influência da quantidade de adsorvente, foram testadas massas de 50 mg, 100 mg e 150 mg, suspensas em 100 mL de solução aquosa contendo os corantes índigo de carmim e vermelho de ponceau 4R, em concentrações variando de 0 a 80 mg/L.

As concentrações dos corantes foram determinadas por espectrofotometria UV-Vis, utilizando espectrofotômetro GBC, modelo 911A, nos seguintes comprimentos de onda: 615 nm para o índigo de carmim e 525 nm para o vermelho de Ponceau 4R. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Ensaios em branco, sem a adição de adsorvente, também foram realizados para controle e verificação da estabilidade das soluções durante o período do experimento.

Para os testes de adsorção, foi preparada uma solução estoque de 1000 mg/L dos corantes sintéticos índigo de carmim e vermelho de Ponceau 4R. A partir dessa solução, foram preparadas soluções diluídas com as seguintes concentrações: 05, 20, 35, 50, 65 e 80 mg/L, para ambos os corantes.

A capacidade de adsorção no equilíbrio (q_e) foi calculada pela equação: $q_e = (C_0 - C_e) * V/M$.

$$eQ = \frac{Q_m \cdot K_L \cdot C_e}{1 + Q_m \cdot C_e} \quad (\text{Equação 1) Isotermica de Langmuir}$$

Onde:

Q_e : Quantidade adsorvida no equilíbrio (mg/g)

Q_m : Capacidade máxima de adsorção (mg/g)

K_L : Constante de Langmuir (L/mg)

C_e : Concentração no equilíbrio (mg/L).

Resultados e Discussões

O bagaço de cana-de-açúcar (BCA) Figura 1 e a casca de mandioca (CM) Figura 2, após a secagem, foram triturados com o objetivo de aumentar a superfície de contato dos adsorventes. Esse procedimento é fundamental para potencializar a capacidade de adsorção, pois uma maior área superficial proporciona mais sítios ativos disponíveis para a interação com as moléculas dos corantes, favorecendo a remoção eficiente destes da solução. De acordo com estudos de *Foo & Hameed* (2019) e *Kumar et al.* (2021), o aumento da área superficial é uma das estratégias mais eficazes para melhorar a eficiência dos bioadsorventes.



1

Figura 1 - Bagaço de cana-de- seco e triturado; açúcar
Fonte; elaboração própria

2

Figura 2- Casca de mandioca seca e triturada
Fonte; elaboração própria

Ambos os materiais apresentam em sua composição lignina e celulose, classificando-os como matérias lignocelulósicas, conforme confirmado pelas análises espectrais. A presença desses componentes é relevante, pois influencia diretamente na capacidade adsorvente devido às suas propriedades químicas e estruturais.

O estudo por espectroscopia de infravermelho (IV) é fundamental na química orgânica e analítica, pois é uma técnica rápida e não destrutiva que fornece evidências diretas da presença ou ausência de grupos funcionais específicos em uma molécula. Essa capacidade é crucial para a confirmação da identidade de compostos e a investigação da sua composição química.

A Figura 3 exibe o espectro de infravermelho para o BCA, evidenciando as principais bandas características desses constituintes.

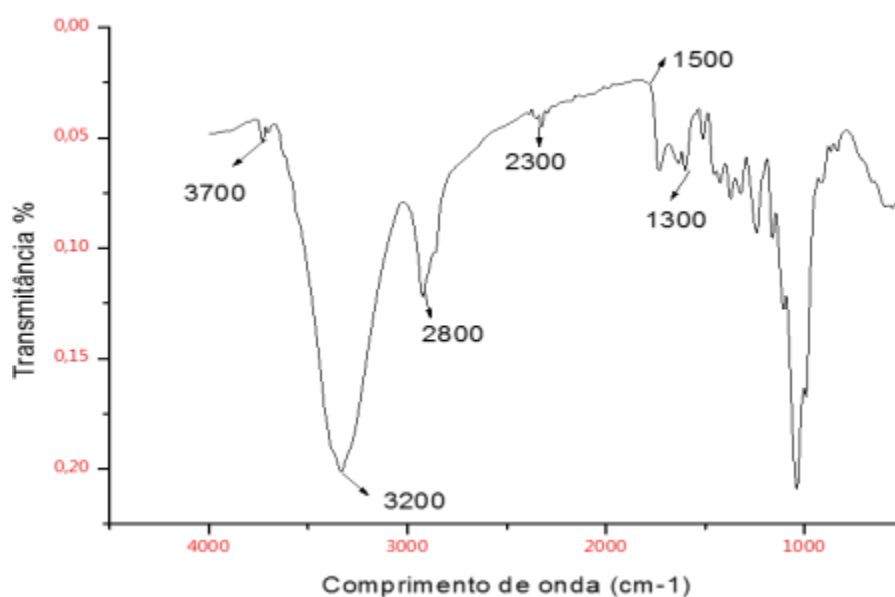


Figura 3 : Espectro de infravermelho para os BCA.

A banda larga em torno de 3200 cm^{-1} é resultante da associação polimérica e corresponde a vibrações de estiramento dos grupos hidroxilas O-H em virtude da interação inter e intra molecular da ligação H com os compostos poliméricos, das associações macromoleculares, como álcoois, fenóis e ácidos carboxílicos, assim como também da pectina, celulose e lignina comprovando a presença de grupos hidróxido livres na superfície do adsorvente. A banda que ocorre em 2800 cm^{-1} pode ser atribuída às vibrações de grupos metilo e metileno presente na celulose e hemicelulose. O estiramento do grupo aldeído ($\text{CH}=\text{O}$) pode ser observado nas bandas aproximadas a 1750 cm^{-1} , enquanto que as bandas em aproximadamente 1300 cm^{-1} , são atribuídas às vibrações do grupo CH_3 . As pequenas bandas entre 1600 e 1400 cm^{-1} representam a região de absorção de núcleos aromáticos correspondente as vibrações do esqueleto aromático e ao alongamento C-O do anel presente na lignina. Já a banda forte observada em aproximadamente 1050 cm^{-1} pode ser referente à vibração de alongamento de C-O de álcoois e fenóis.

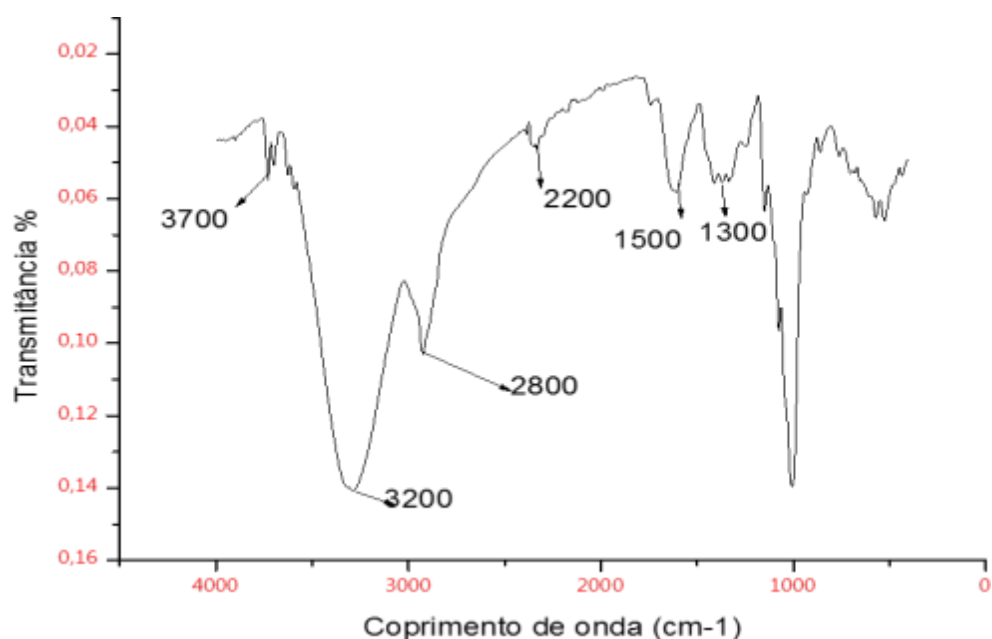


Figura 4 : Espectro de infravermelho para a CM

A presença de grupos OH na superfície da casa de mandioca é confirmada pela banda entre

3200 cm^{-1} , que envolve vários modos vibracionais do grupamento (O-H). A banda que aparece na faixa em 2800 cm^{-1} refere-se ao estiramento (C-H) de grupos metílicos e metilênicos, comuns em estruturas lignocelulósicas. O estiramento em 1500 cm^{-1} refere-se às vibrações (C=C) em aromáticos. As vibrações em 1300 cm^{-1} são atribuídas à deformação (C-H). Os respectivos picos em 1200 cm^{-1} e 1105 cm^{-1} são referentes ao estiramento (C-O) do anel pirano e o estiramento (C-O-C) do éter alifático em 1059 cm^{-1} .

A análise do espectro vibracional na região do infravermelho sugere diversos sítios ativos hidroxilados, presentes no BCA e na CM, indicando que a superfície das biometrias pode ser usada como adsorvente, sugerindo uma interação entre os sítios ativos e as moléculas dos corantes. A Figura 4 abaixo temos os resultados em porcentagem dos estudos de adsorção para o BCA com o corante vermelho de ponceau 4R com as diferentes massas do adsorvente.

Quadro1 – Principais bandas observadas nos espectros de FT-IR do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de mandioca.

Banda (cm^{-1})	Atribuição	Observado em
3200–3500	O-H (hidroxila)	Bagaço e Casca
2900	CH metil/metileno	Bagaço e Casca
1750-1600	C=O (carbonila) C=C aromático	Bagaço e Casca
1400-1300	Deformação C-H	Bagaço e Casca
1200-1050	C-O C-O-C	Bagaço e Casca

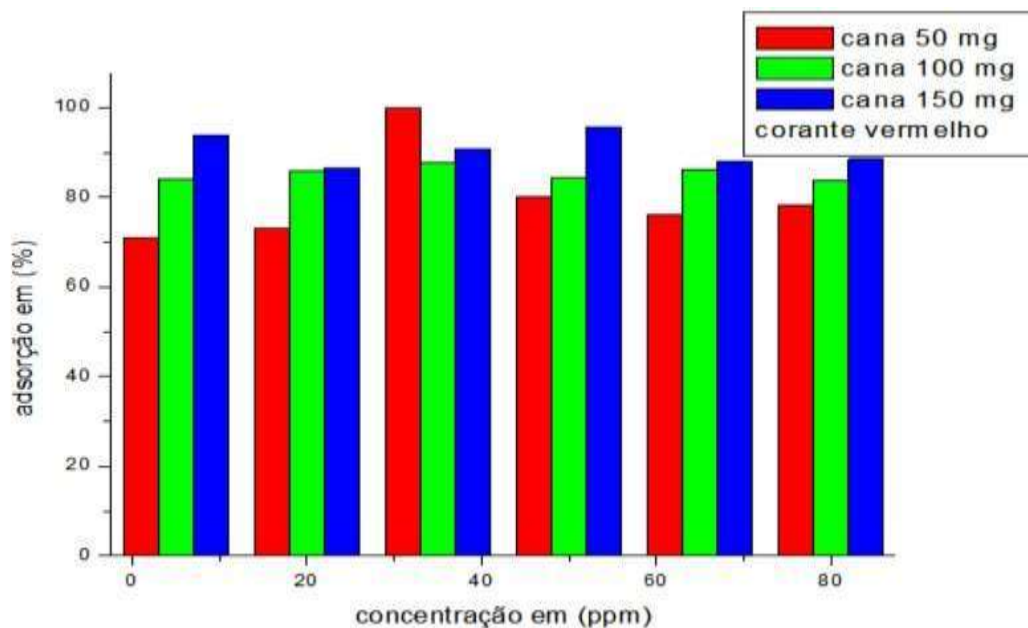


Figura 5: Gráfico da porcentagem de adsorção do BCA, para o corante vermelho de ponceau 4R.

No gráfico da Figura 5, observa-se que, para a maioria dos experimentos, a porcentagem de adsorção tende a aumentar conforme a massa de adsorvente BCA aumenta, atingindo uma adsorção máxima de 95% com 150 mg de BCA. Com 100 mg de BCA, a remoção máxima foi de 86,3%, enquanto que com apenas 50 mg do adsorvente foi obtida uma remoção de 99,9% em uma solução com concentração inicial de 35mg/L. Este último resultado evidencia a alta eficiência do BCA na remoção do corante vermelho ponceau 4R.

No entanto, é importante destacar que o aumento da massa do adsorvente nem sempre resulta em um aumento contínuo da adsorção, pois em determinado ponto ocorre a saturação do adsorvente, quando sua capacidade máxima de adsorção é alcançada. Para determinar esse ponto, é necessário calcular a capacidade de saturação do adsorvente, que indica a quantidade máxima de corante adsorvida por unidade de massa do adsorvente.

Recomenda-se que sejam elaborados gráficos da capacidade de saturação para cada estudo realizado, permitindo a visualização clara do comportamento do adsorvente em diferentes

condições. Além disso, uma tabela comparativa entre os valores obtidos para diferentes adsorventes e corantes pode ser inserida, facilitando a análise comparativa dos resultados.

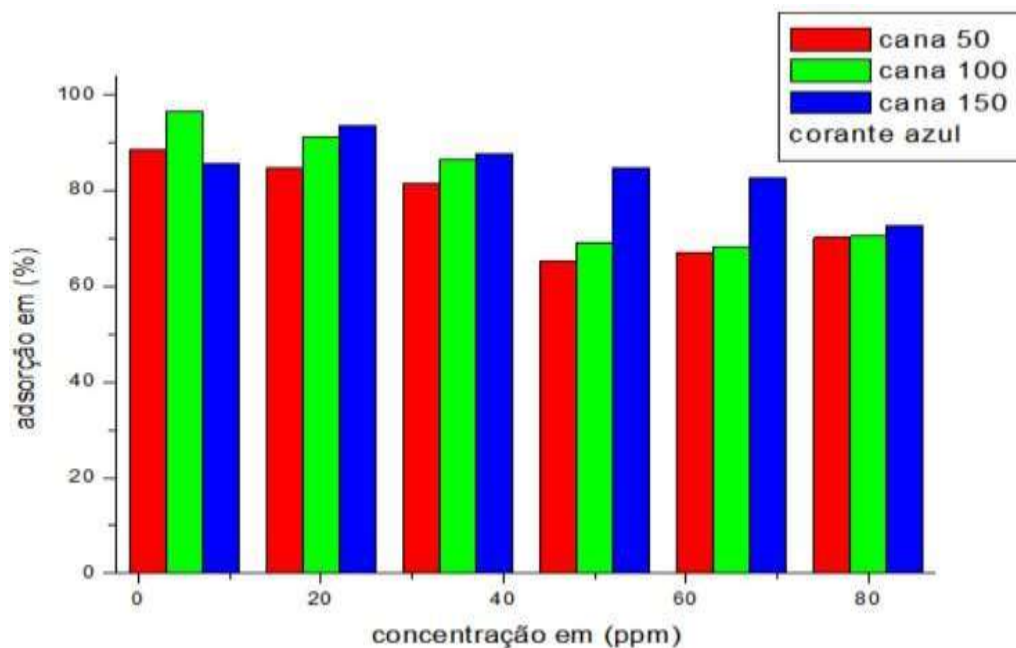


Figura 6: Gráfico da porcentagem de adsorção do BCA, para o corante indigo de carmin.

Na Figura 6 podemos observar uma melhor adsorção em concentrações menores, ao usar 150 mg do BCA tivemos uma remoção de 93,6% na solução de concentração inicial a 20 ppm, usando 100 mg o melhor resultado foi 96,4% com a solução de concentração inicial a 5mg/L para o experimento com de 50 mg o melhor resultado foi 88,6% com a solução inicial de 5 mg/L

Com isto percebemos uma melhor interação do BCA com o corante vermelho de ponceau 4R.

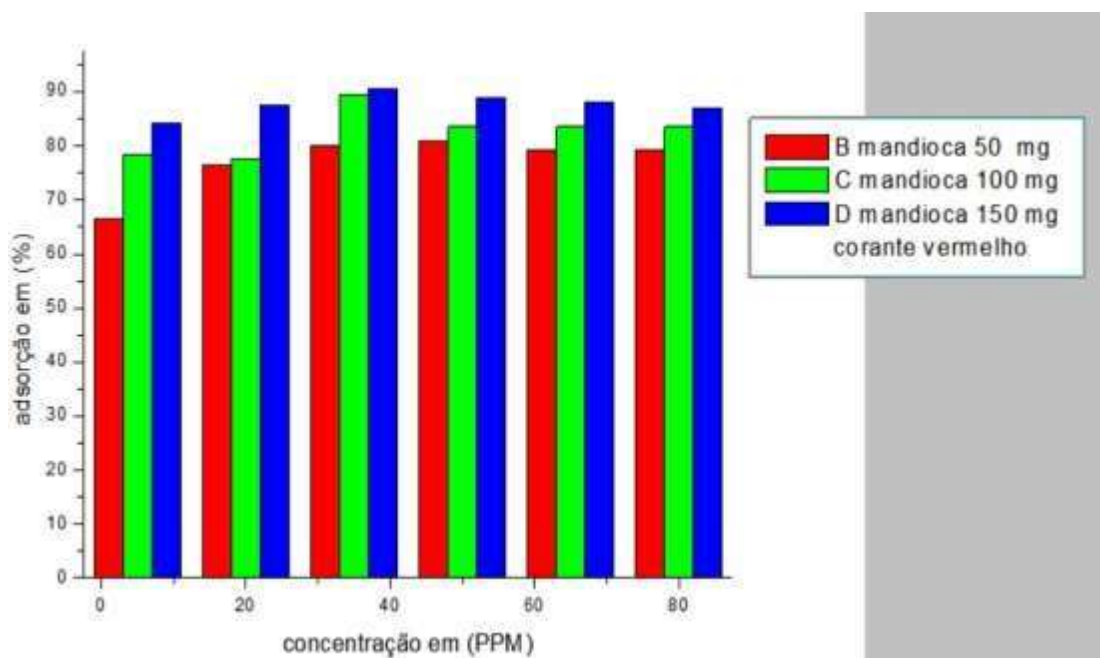


Figura 7: Gráfico da porcentagem de adsorção do CM, para o corante vermelho de ponceau 4R.

Na figura 7 observamos que quanto maior a quantidade da CM usada maior é a porcentagem de adsorção. O melhor resultado para a amostra de CM com 150 mg foi de 90,5, para a amostra de CM com 100 mg o melhor resultado 89,4%, para amostras de 50 mg o melhor resultado foi 80,8%.

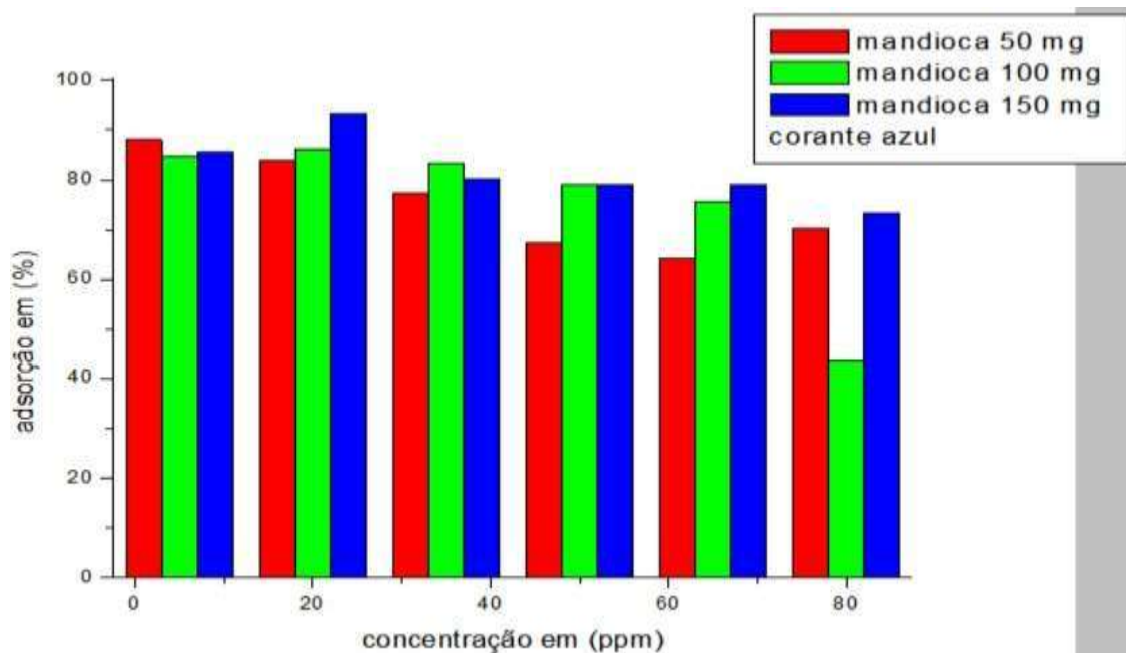


Figura 8: Gráfico da porcentagem de adsorção do CM, para o corante índigo de camina.

Na Figura 8, observa-se um comportamento semelhante ao apresentado pelo corante índigo carmim no adsorvente bagaço de cana-de-açúcar (BCA), mostrado na Figura 5, onde a remoção do corante é mais eficiente em concentrações menores. Utilizando apenas 50 mg de CM, foi possível alcançar uma remoção de 88% em uma solução com concentração inicial de 5 mg/L. Com 100 mg da CM, a remoção foi de 86,2%, enquanto com 150 mg a eficiência aumentou para 93,2%.

Analisando o desempenho das diferentes massas de adsorventes, observa-se que o melhor resultado para o BCA no corante vermelho ponceau 4R foi de 99,9% de remoção, utilizando apenas 50 mg do adsorvente em uma solução com concentração inicial de 35mg/L. Para o corante índigo carmim, o melhor desempenho foi obtido com 100 mg de BCA, apresentando 96,4% de eficiência na remoção em solução de concentração inicial de 5 mg/L.

Já para a casca de mandioca, os resultados foram um pouco inferiores em relação ao BCA, mas ainda expressivos, alcançando até 93,2% de remoção para o corante índigo carmim com 150 mg de adsorvente.

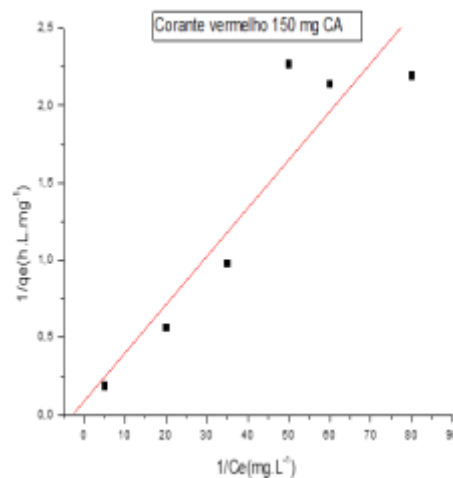
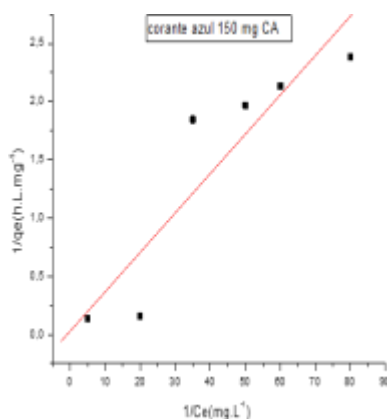
Discussão dos Cálculos - Modelo de Langmuir

Os dados experimentais obtidos com o bagaço de cana-de-açúcar (BCA) e a casca de mandioca (CM), ambos *in natura*, foram ajustados ao modelo de isoterma de Langmuir, amplamente utilizado para descrever a adsorção em monocamadas sobre superfícies homogêneas. O modelo de Langmuir assume que a adsorção ocorre em locais específicos da superfície do adsorvente, sem interação entre as moléculas adsorvidas.

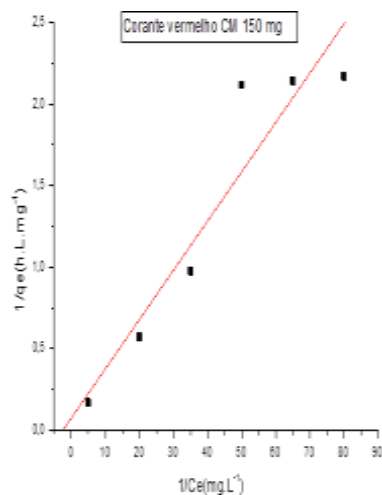
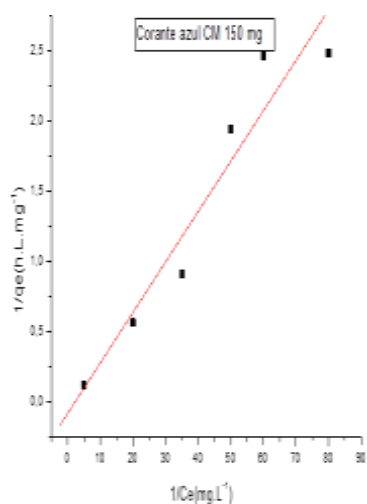
A equação linearizada é dada por:

$$\frac{1}{q^e} = \frac{1}{q^{\max}} + \frac{1}{q^{\max} K_L} \cdot \frac{1}{C_e}$$

Abaixo estão os gráficos de regressão lineares, na figura 9 referentes as regressões lineares dos melhores resultados de adsorção para os cálculos das constantes cinéticas.



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação



Com base nos cálculos fornecidos, os parâmetros obtidos para o corante vermelho foram:

Amostra	Qmax (mg/g)	KL (L/mg)	RL
BCA- Vermelho	27,8	0,022	0,0016
CM - Vermelho	33,08	2,47	0,012

Com base nos cálculos fornecidos, os parâmetros obtidos para o corante azul foram:

Amostra	Qmax (mg/g)	KL (L/mg)	RL
BCA- Azul	29,55	0,185	0,087
CM - Azul	32,00	2,82	0,0111

A constante de Langmuir (KL) está associada à afinidade entre adsorvente e adsorvato. Valores elevados de KL indicam uma maior afinidade da superfície do bioadsorvente pelos corantes. Nota-se que a casca de mandioca apresentou valores muito mais elevados de KL, sugerindo interação mais forte com os corantes, especialmente o azul.

Já o parâmetro RL, conhecido como fator de separação ou fator de equilíbrio que é um parâmetro adimensional que indica a favorabilidade do processo de adsorção: é calculado por $R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0}$ O valor de RL indica a favorabilidade do processo de adsorção:

RL > 1: desfavorável; Digite a equação aqui.

RL = 1: linear;

0 < RL < 1: favorável;

RL = 0: irreversível.

Todos os valores de RL obtidos estão entre 0 e 1, o que confirma que a adsorção foi favorável em todos os casos. Para a adsorção com o BCA como o corante vermelho encontramos RL muito baixos (como 0,0016) podem indicar uma adsorção quase irreversível, o que pode ser desejável ou não, dependendo da proposta de reaproveitamento do bioadsorvente.

Comparando os dados com a literatura, *Foo & Hameed (2010)* relataram que materiais lignocelulósicos como cascas e bagaços podem apresentar Qmax variando de 10 a 150 mg/g, dependendo do tratamento. Neste estudo, os valores de Qmax variaram entre 27,8 e 33,08 mg/g, estando dentro da faixa para materiais *in natura*.

Segundo *Mittal et al. (2015)*, KL entre 0,01 e 2,5 indicam bom desempenho, reforçando a eficiência da casca de mandioca com corante azul (KL = 2,82). *Kumar & Singh (2021)* destacam que a eficiência dos bioadsorventes depende fortemente da estrutura química e dos grupos funcionais presentes na superfície, o que foi confirmado na análise FTIR presente no trabalho.

Portanto, os resultados obtidos confirmam que tanto o BCA quanto a CM têm bom desempenho como bioadsorventes para corantes, com destaque para a casca de mandioca com o corante azul. Os dados ajustados ao modelo de Langmuir mostraram boa compatibilidade teórica, permitindo estimar com segurança os parâmetros de adsorção.

Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo demonstram claramente o potencial dos resíduos agroindustriais, especificamente o bagaço de cana-de-açúcar (BCA) e a casca de mandioca (CM), como adsorventes naturais para a remoção de corantes sintéticos em soluções aquosas. As análises realizadas evidenciaram que ambos os materiais, em sua forma in natura, apresentam propriedades químicas e estruturais favoráveis para a adsorção, destacando-se a presença significativa de grupos hidroxila, celulose, hemicelulose e lignina, conforme confirmado pela espectroscopia de infravermelho (FTIR). Esses componentes são fundamentais para a interação e fixação das moléculas dos corantes na superfície dos bioadsorventes.

Os experimentos mostraram que a eficiência na remoção dos corantes índigo carmim e vermelho ponceau 4R varia em função da concentração inicial dos corantes, da massa do adsorvente. Observou-se que, para o bagaço de cana, a adsorção atingiu valores máximos de remoção de até 99,9% com 50 mg de adsorvente na solução de 35mg/L do corante vermelho ponceau 4R, o que revela a alta capacidade de remoção mesmo com pequenas quantidades de material. Para o corante índigo carmim, o melhor desempenho foi obtido com 100 mg de BCA, alcançando 96,4% de remoção, destacando que concentrações menores favorecem a adsorção, possivelmente devido à disponibilidade e saturação dos sítios ativos.

No caso da casca de mandioca, embora os valores de remoção tenham sido ligeiramente inferiores aos do bagaço de cana, os resultados também foram expressivos, alcançando até 93,2% para o corante índigo carmim e 90,5% para o vermelho ponceau 4R, com 150 mg de adsorvente. A tendência observada foi similar à do BCA, indicando que a quantidade de adsorvente tem papel determinante na eficiência do processo.

Além disso, os gráficos de adsorção indicam uma relação direta entre o aumento da massa do adsorvente e a eficiência da remoção, o que é esperado devido à maior disponibilidade de sítios de adsorção. Entretanto, o desempenho destacado do BCA em concentrações específicas evidencia sua competitividade em relação à casca de mandioca, podendo ser considerado um material mais eficiente para certas condições de tratamento.

Estes resultados corroboram a viabilidade do uso de resíduos agroindustriais abundantes e de baixo custo como bioadsorventes para tratamento de efluentes contaminados por corantes, oferecendo uma alternativa sustentável frente aos adsorventes comerciais tradicionais, como o

carvão ativado. Além da eficiência na remoção, esses materiais contribuem para a redução do impacto ambiental causado pelo descarte inadequado de resíduos agroindustriais e pela poluição das águas por corantes tóxicos.

Portanto, a pesquisa reforça a importância de explorar e valorizar resíduos lignocelulósicos para fins ambientais, destacando o bagaço de cana-de-açúcar e a casca de mandioca como promissores adsorventes naturais. Recomenda-se a continuidade dos estudos para otimização das condições de adsorção, avaliação do potencial regenerativo dos adsorventes e aplicação em sistemas de tratamento real de efluentes, o que poderá ampliar ainda mais as possibilidades de uso desses materiais em escala industrial.

Referências

- Mendes, F. M.; Heikkilä, E.; Fonseca, M. B. *Topochemical characterization of sugar cane pretreated with alkaline sulfite*. Industrial Crops and Products, 2023.
- Silva, R. R.; Souza, M. A.; Oliveira, L. C. *Recent advances in bioadsorbents from agroindustrial residues for dye removal: a review (2020–2024)*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 12(4), 2024, 109019. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.109019>
- Oliveira, F. L.; Lima, E. C.; Adebayo, M. A.; *Adsorption of synthetic dyes from aqueous solutions using agricultural wastes: a review*. Environmental Science and Pollution Research, 28, 2021, 36752–36771. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14636-x>
- Brasil. Embrapa. *Mandioca em números*, 2018. Disponível em: [link]. Acesso em: 14 maio 2018.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. *Boletim da Safra de Cana-de-Açúcar 2025/2026*. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em: junho 2025.
- Costa, A. C. F.; Lima, L. A.; Silva, T. M. *Biosorption of dyes using lignocellulosic biomass: kinetics, equilibrium and thermodynamics studies*. Environmental Technology & Innovation, 24, 2021, 101884. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101884>
- Ferreira, D. S.; Oliveira, J. S.; *Characterization and adsorption properties of bioadsorbents derived from agro-industrial residues for dye removal*. Environmental Science and Pollution Research, 30, 2023, 23500–23512. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26850-7>
- FOO, K. Y.; HAMEED, B. H. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, v. 156, n. 1, p. 2-10, 2010.

Kumar, A.; Singh, R. K.; *Bioadsorbents for removal of textile dyes: a comprehensive review*. Journal of Cleaner Production, 307, 2021, 127296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127296>

MITTAL, A.; KURUP, L.; SINGH, A. Biosorption of hazardous dyes from aqueous solution onto treated sawdust: a review. *Environmental Engineering and Management Journal*, v. 14, n. 1, p. 1-22, 2015.

Smith, J. A.; Brown, P.; *Use of sugarcane bagasse in wastewater treatment: a sustainable approach for dye removal*. Sustainability, 14(8), 2022, 4563. <https://doi.org/10.3390/su14084563>

Zhang, W.; Yang, Y.; *Application of cassava peel biosorbent for dye removal from water: equilibrium and kinetic study*. Journal of Environmental Management, 300, 2022, 113645. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113645>

KUMAR, A.; SINGH, R. K. Bioadsorbents for removal of textile dyes: a comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, v. 307, p. 127296, 2021.