

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza

ETEC Júlio de Mesquita

Curso Técnico em Química

RESINA FEITA DA CASCA DA LARANJA LIMA COM POTENCIAL DE TROCA IÔNICA PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA

Adriano Ramos¹

Ametista Caetano Gomes²

Rayane da Silva Pimenta³

Magali Canhamero⁴

Resumo: A contaminação das águas por corantes, como o azul de metileno, é um fator de risco ao meio ambiente, tendo em vista que toda a fauna e flora aquática são extensamente prejudicadas, afetando a fotossíntese devido a redução da quantidade de oxigênio dissolvido e da passagem de luz, estendendo-se além dos corpos da água e afetando toda a biodiversidade local. A principal fonte de contaminação é advinda de indústrias têxteis e, perante esta situação, faz-se necessário o estudo de técnicas eficientes para o tratamento do efluente visando a redução de novos impactos. A laranja lima é amplamente cultivada no território brasileiro, sendo utilizada para diversas finalidades produtivas, mas com isto há um grande acúmulo de resíduos orgânicos dos quais não possuem muitas designações e são destinados para o preparo de rações animais. Um sistema sustentável e contínuo foi construído para avaliar a remoção de azul de metileno por meio da aplicação de uma resina bioadsorvente trocadora de íons a partir da casca, haja vista que ela possui altas propriedades adsorventes devido sua composição possuir grupos funcionais ionizáveis.

Palavras-chave: Contaminação das águas; azul de metileno; Resina trocadora de íons; Bioadsorvente.

¹Aluno do Curso Técnico em Química - adriano.ramos06@etec.sp.gov.br

²Aluno do Curso Técnico em Química - ametista.gomes@etec.sp.gov.br

³Aluno do Curso Técnico em Química - rayane.pimenta@etec.sp.gov.br

⁴Professora do Curso Técnico em Química - magali.canhamero01@etec.sp.gov.br

RESIN MADE FROM LIME ORANGE PEEL WITH ION EXCHANGE POTENTIAL FOR WATER TREATMENT

Abstract: Contamination of water by dyes, such as methylene blue, is a risk factor for the environment, considering that all aquatic fauna and flora are extensively harmed, affecting photosynthesis due to the reduction in the amount of dissolved oxygen and the passage of light, extending beyond water bodies and affecting all local biodiversity. The main source of contamination comes from textile industries, and, given this situation, it is necessary to study efficient techniques for treating effluent to reduce new impacts. Lime orange is widely cultivated in Brazilian territory, being used for various production purposes, but as a result there is a large accumulation of organic waste, which does not have many names and is intended for the preparation of animal feed. A sustainable and continuous system was built to evaluate the removal of methylene blue through the application of an ion exchange bioadsorbent resin from the bark, given that it has high adsorbent properties due to its composition having ionizable functional groups.

Keywords: Water contamination; Methylene blue; Ion exchanger resin; Bioadsorbent.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Água

É o elemento vital que sustenta toda a Terra, participando de quase todos os processos biológicos e ecológicos. Sem ela, a vida como conhecemos simplesmente não existiria. Além de ser essencial para nossa sobrevivência, desempenha um papel crucial na economia, na agricultura e em atividades antropológicas, sendo um recurso indispensável para diversas indústrias, incluindo a têxtil, uma das mais antigas e economicamente importantes do mundo. No entanto, a crescente demanda e os altos níveis de poluição hídrica se tornaram desafios urgentes que precisamos enfrentar neste século. A contaminação da água por corantes e outros poluentes industriais representa uma ameaça significativa à saúde humana e ao meio ambiente. A utilização de corantes sintéticos tem aumentado substancialmente nas últimas décadas. A produção global de corantes é estimada em mais de 700 mil toneladas anuais, abrangendo mais de 100 mil variedades disponíveis comercialmente (SARDAR *et al*, 2021). O despejo de efluentes contendo tais substâncias tem se configurado como um desafio significativo para as indústrias, particularmente as do setor de tecelagem, visto que, durante o processo de tingimento, cerca de 50% do corante é dissipado, e aproximadamente 15% são descartados nos efluentes industriais (FOGUEL; SOTOMAYOR, 2016).

1.2 Azul de metileno e suas implicações

Cloreto de 3,7-bis-(dimetilamino)-fenotiazínio, conhecido como azul de metileno, é um corante catiônico aromático heterocíclico que, quando dissolvido em água, adquire uma coloração azul. Com a fórmula molecular: $C_{16}H_{18}ClN_3S$.

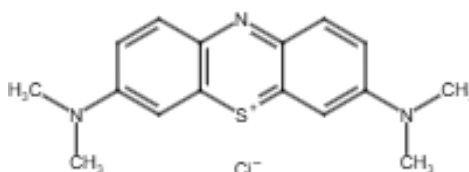


Figura 1: Estrutura química do corante azul de metileno.

Fonte: Os Autores

O azul de metileno possui ligações covalentes que formam uma estrutura estável, porém complexa, que contribui para sua resistência à degradação no ambiente. As ligações duplas entre o enxofre (S) e o carbono (C), e entre o nitrogênio (N) e o carbono (C), são particularmente importantes. A presença de grupos fenila (C_6H_5) e o grupo amino ($-N(CH_3)_2$) também influencia suas propriedades hidrofóbicas, dificultando sua degradação natural (Brown, 2020). É um sólido cristalino de cor verde escura que, ao ser dissolvido em água, forma uma solução azul intensa.

1.2.1 Toxicidade

Reconhecido por sua toxicidade em altas concentrações, podendo causar danos aos sistemas nervoso e respiratório em humanos (Usberco & Salvador, 2017; *SARDAR et al, 2021*). Além disso, é considerado tóxico para organismos aquáticos, onde pode interferir na fotossíntese de plantas aquáticas e causar a morte de peixes e outros animais marinhos (Kim & Park, 2018).

1.2.2 Poluição Ambiental

Devido à sua estabilidade química, é difícil de ser removido por métodos convencionais de tratamento de efluentes. Sua presença em corpos hídricos pode levar a consequências ecológicas significativas, incluindo a diminuição da qualidade e a toxicidade para a vida aquática (Martínez & Gómez, 2021). Além disso, o composto pode se bioacumular em organismos aquáticos, entrando na cadeia alimentar e possivelmente afetando seres humanos através do consumo de peixes contaminados (Smith, 2022). Amplamente utilizado na coloração de tecidos, é um exemplo preocupante. Embora tenha várias aplicações, incluindo na medicina e na biologia, a presença de azul de metileno na água pode causar sérios danos aos ecossistemas aquáticos e à saúde humana. A contaminação em humanos causa os seguintes efeitos: hemoconcentração, hipotermia, acidose, hipóxia, aumento da pressão sanguínea, lesão córnea e reações tóxicas no sistema hematopoiético (QUÍMICA BRASILEIRA, 2021). O descarte inadequado de efluentes que contêm pode ter impactos avassaladores, como a redução da penetração de luz solar, prejudicando a

fotossíntese de plantas e algas aquáticas. Por isso, a remoção eficiente é uma questão crítica para a preservação do meio ambiente e a saúde pública.

1.3. Resina bioadsorvente da casca da laranja lima

A laranja lima (*Citrus aurantifolia*) é uma das variedades de fruta mais cultivadas no Brasil, contribuindo significativamente para a produção global de citros. A indústria de sucos e alimentos processados utiliza grandes quantidades dessa fruta, resultando em um grande volume de resíduos, que são descartados como lixo orgânico (Silva et al., 2020).

Com o crescente interesse em soluções sustentáveis, a conversão de resíduos agroindustriais em produtos de valor agregado tem sido amplamente explorada. Neste contexto, a casca, rica em compostos bioativos e polissacarídeos, pode ser transformada em uma resina eficaz no tratamento de águas contaminadas com compostos tóxicos, como o azul de metileno (Martínez & Gómez, 2021).

1.3.1 Composição Química da Casca

O epicarpo, contém uma concentração elevada de fibras, pectinas, flavonoides (como a hesperidina) e óleos essenciais, principalmente limoneno (Santos & Oliveira, 2019). Esses compostos conferem características que podem ser aproveitadas na produção de materiais adsorventes, como resinas. Os polissacarídeos presentes, particularmente a pectina, têm uma alta afinidade por íons metálicos e moléculas orgânicas, o que os torna interessantes para a adsorção de poluentes (Silva et al., 2020).

De acordo com a literatura, a casca da laranja é composta dos seguintes constituintes: Carboidratos: Representam entre 50% à 60% em peso seco. Estes são compostos principalmente de pectinas, celulose e hemicelulose, que contribuem para a estrutura fibrosa (VENKATESH et al., 2020).

Fibras Dietéticas: Compreendem cerca de 40% a 45% do peso seco, sendo majoritariamente constituídas por fibras insolúveis (pectinas e celulose), essenciais para a estrutura (SINGH et al., 2022).

Compostos Fenólicos: Contém aproximadamente 4% a 5% de compostos fenólicos, responsáveis por suas propriedades antioxidantes. (GARCÍA-CAYUELA et al., 2019).

Ácidos Orgânicos: Os ácidos cítrico e málico são predominantes, representando cerca de 1% a 2% do peso seco, contribuindo para a acidez (SILVA et al., 2018).

Óleos Essenciais: Estes são responsáveis pelo aroma característico e representam cerca de 1,5% a 3% do peso seco, sendo o limoneno o componente mais abundante, com até 90% da composição dos óleos (SHAHIDI & ZHONG, 2019).

1.3.2 Aplicação no Tratamento de Água Contaminada com Azul de Metileno

O processo de adsorção é altamente dependente do pH da solução, com eficiência máxima em pH neutro a levemente ácido, condições que promovem a protonação dos grupos funcionais e aumentam sua afinidade pelo corante (Kim & Park, 2018). Para valores de pH inferiores ao pHPZC, a carga superficial é positiva e a adsorção de ânions é favorecida; e para valores de pH superiores, a carga superficial é negativa e a adsorção de cátions é favorecida (APEEL; MA; RHUEL, 2003).

1.3.3 Interação Bioadsorvente e Adsorvato

Adsorção é um processo de transferência de fase amplamente utilizado na prática para remover substâncias de fases fluídas (gases ou líquidos). Ela também pode ser observada como um processo natural em diferentes compartimentos ambientais (NASCIMENTO et al., 2020). De maneira geral, a adsorção pode ser definida como o acúmulo de espécies químicas de uma fase fluida na superfície de um líquido ou sólido, como mostrado na figura 3. No tratamento de água, a adsorção é comprovadamente um método eficiente para a remoção de uma grande variedade de solutos, onde moléculas ou íons são retirados da solução aquosa ao se fixarem nas superfícies sólidas.

As superfícies sólidas possuem locais ativos e ricos em energia, capazes de interagir com os solutos da fase aquosa adjacente devido às suas propriedades eletrônicas e espaciais específicas.

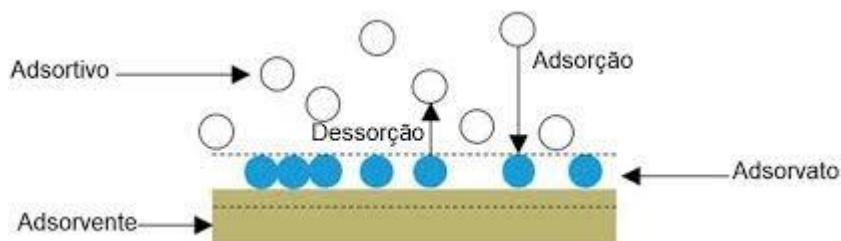
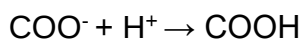


Figura 3: Mecanismo de adsorção e dessorção entre adsorvente e adsorvato

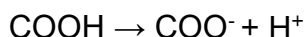
Fonte: Adaptado de WORCHE (2012), citado em Oliveira (2023)

Os termos básicos empregados são: o material sólido que disponibiliza a superfície para a adsorção é chamado de adsorvente, enquanto as espécies que serão adsorvidas são denominadas adsorvato. A interação entre a resina derivada da casca da laranja lima e o corante azul de metileno ocorre principalmente por meio de ligações eletrostáticas e de Van der Waals. Sendo um corante catiônico, apresenta uma forte atração por superfícies carregadas negativamente, o que é favorecido pela modificação com ácido clorídrico (HCl). Esse tratamento provoca a protonação dos grupos funcionais presentes, especialmente os grupos carboxila (-COOH). No entanto, em um ambiente aquoso, à medida que o pH aumenta, os grupos carboxila tendem a desprotonar, formando a espécie carregada negativamente (-COO⁻) e, assim, facilitando a adsorção do corante (Ravikumar et al., 2019; Cárdenas et al., 2021).

Protonação

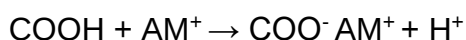


Desprotonação (em pH elevado)



Além dos grupos carboxila, outros grupos funcionais presentes na resina, como os grupos hidroxila (-OH), também contribuem para a interação, uma vez que podem formar ligações de hidrogênio e interações de Van der Waals com o corante (Bansal et al., 2020).

O valor do pH crítico de zero carga (pH_{pcz}) é fundamental neste contexto, pois define o ponto em que a carga da superfície é neutra. Abaixo deste valor, apresenta carga positiva, e acima, carga negativa. O pH da solução deve ser ajustado de modo a garantir que a superfície esteja predominantemente negativa, permitindo que o corante catiônico seja atraído (Bhatnagar et al., 2010). Logo, após os processos de imersão em álcool e lavagem com água deionizada, pode ocorrer a perda de prótons da resina, sendo necessário uma nova protonação de suas funções, para que quando colocadas em solução básica, como a solução contendo azul de metileno, ela busque manter o equilíbrio da solução deixando sua superfície negativamente carregada com a perda de H⁺ para o meio, favorecendo a interação entre o íon do corante (AM).



1 Objetivo

A extração e caracterização de uma resina proveniente de cascas de laranja, com foco na sua aplicação em processos de adsorção de corantes, além de sua reutilização como adubo após o tratamento.

3 DESENVOLVIMENTO

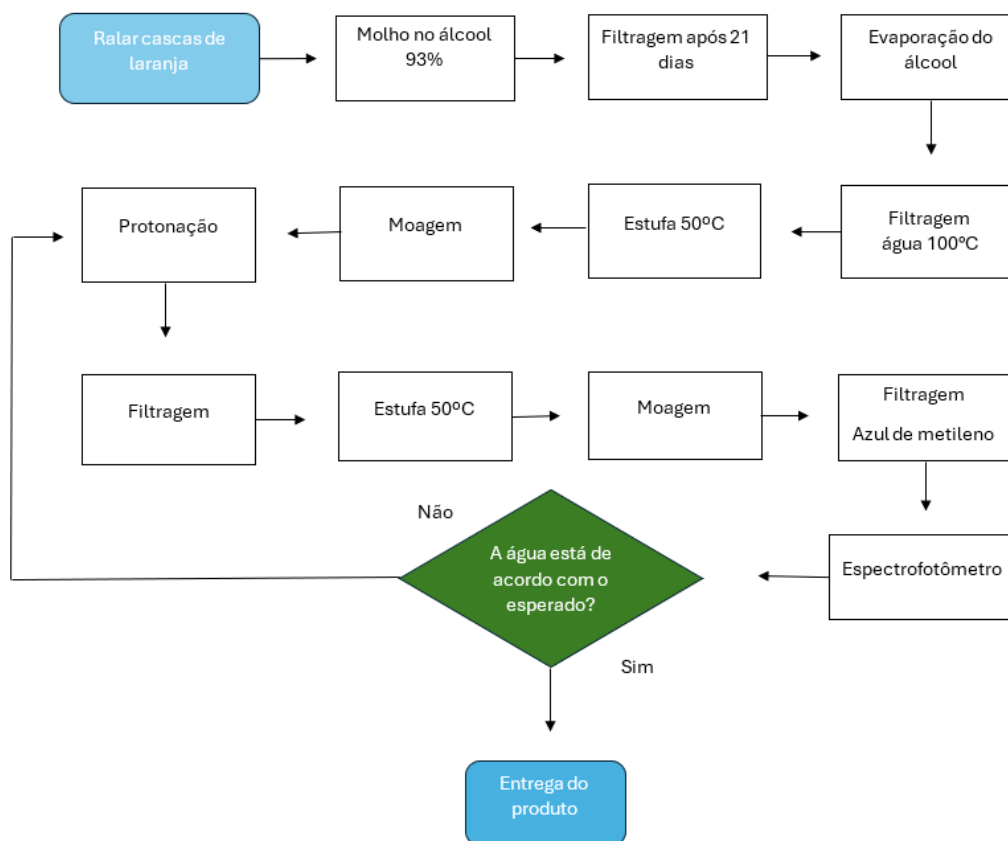


Figura 4: Preparação e teste da resina

Fonte: Os autores

3.1 Reagentes e Equipamentos

A laranja lima foi adquirida em parceria com feirantes da cidade de Santo André, ralada com um ralador profissional modelo Zester (Utiliday, Brasil) e imersas em álcool 93% (LCM comercio de produtos, Brasil). Corante azul de metileno padrão solido P.A (Cromato Produtos Químicos LTDA, Brasil). NaCl P.A (Cromoline Química Fina Ltda, Brasil), HCl 0,1 mol/L e NaOH 0,05 mol/L $F_c = 1,0000$ para as soluções determinantes do pH_{pcz}. Para as diluições, foi utilizado a micropipeta modelo JN043440 (Joanlab, China). pHmetro modelo mPA-210, (MS Tecnoyon, Brasil) foi utilizado para medições de pH nas amostras. Ademais, usou-se a balança analítica modelo AY220,

(Shimadzu, Japão) com capacidade de pesagem de 220g e precisão de 0,1 mg para as medições de adsorvente e corante, a estufa para a secagem, o agitador magnético modelo NT103, (Nova técnica, Brasil) e o espectrofotômetro UV-VIS 974529 (Edutec, Brasil) junto da cubeta de quartzo a fim de determinar a absorbância do bioadsorvente.

3.2 Procedimento Experimental

3.2.1 Preparação do adsorvente

Foram adicionadas 70 unidades de laranja lima raladas, em um recipiente de vidro higienizado, deixando-as de repouso no álcool etílico 93% durante 21 dias em um local com ausência de luz e agitando ocasionalmente para garantir homogeneidade. Após o período de extração foram filtrados no tecido voil para separar o líquido da resina. O bioadsorvente ficou ao ar livre para evaporação do álcool e em seguida foi feita a moagem no almofariz, lavagem com água deionizada fervente para a retirada da pectina e da coloração e secagem na estufa à 50°C.



Figuras 5: Início e final da produção do adsorvente
(esquerda para a direita)

Fonte: Os autores

Laranja inicial 371g	
Perda em cada filtragem	5%
Filtragem 1	352,5
Filtragem 2	335
Filtragem 3	318,1
Filtragem 4	302,2

Tratamento 8 béqueres (2g)	16
PCZ 11 béqueres (0,5g)	5,5
Restando	280,7
	75,70%

Tabela 1: Rendimento da resina

Fonte: Os autores

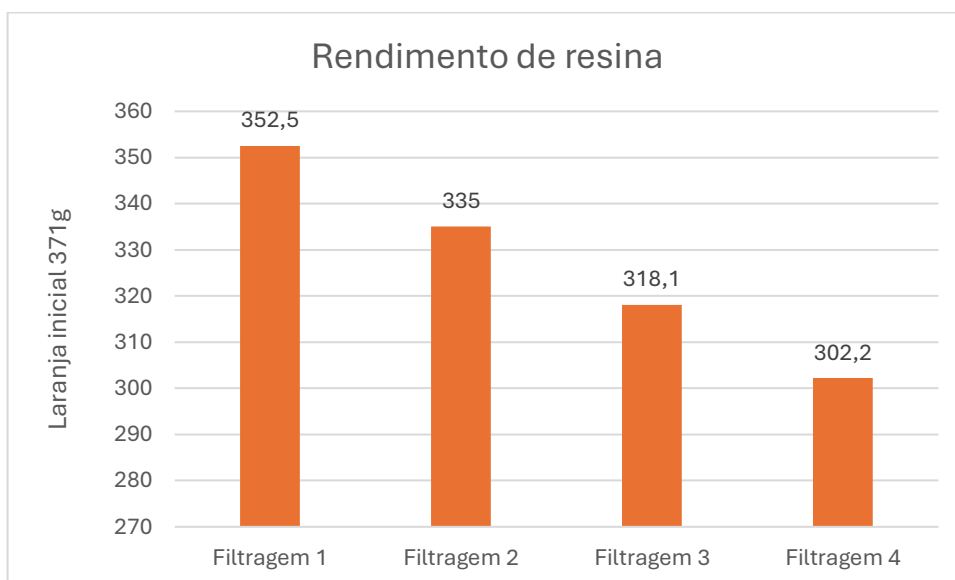


Figura 6: Rendimento da resina ralada a partir da laranja

Fonte: Os autores

3.2.2 Ponto de Carga Zero (pH_{pcz})

Foi utilizado o método dos 11 pontos (REGALBUTO; ROBLES, apud CALCIOLARI et al., 2022) que consiste no preparo de uma solução de 0,1 mol/L de NaCl P.A em um balão volumétrico de 1 litro, em seguida foi transferido para 11 béqueres através de um balão volumétrico, 50 ml da solução anteriormente preparada, que posteriormente foram corrigidas em uma faixa de pH de 2 até 12 com HCl 0,01 mol/L e NaOH 0,01 mol/L. Em um agitador magnético à 60 rpm, adicionou-se 0,5g de resina em cada béquer deixando-os em rotação por 2 horas para garantir o contato da superfície com a solução e, por fim, deixou-se as soluções em contato por 24 horas. No dia seguinte as soluções foram medidas no pHmetro para verificar o pH final de cada solução. Ao final, plota-se um gráfico de pH final x pH inicial, onde corresponde ao pH_{pcz}, a faixa em que o pH final se mantém constante.

3.2.3 Varredura do Azul de Metileno

Inicialmente, pesar 15mg de azul de metileno em um béquer utilizando uma balança analítica de precisão. Em seguida, dissolver completamente o corante e transferir a solução para um balão volumétrico de 1 litro, utilizando um funil para garantir uma transferência precisa. Completar o volume do balão até a marca do menisco com água destilada, preparando assim uma mistura homogênea de $4,69 \times 10^{-5}$ mol/L do adsorvato. Com a solução preparada, proceder à ambientação da cubeta de quartzo, configurar o espectrofotômetro para medir a absorbância com um comprimento de onda inicial de 200 nm. Antes de iniciar as leituras, utilizar uma cubeta de quartzo contendo água destilada para calibração do equipamento.

3.2.4 Curva analítica do adsorvato

Em seguida, foi utilizado a solução padrão de $4,69 \times 10^{-5}$ mol/L de Azul de Metileno preparada anteriormente para preparar 8 balões volumétricos de 25mL variando suas concentrações iniciais de 1mg/L até 8mg/L.

Diluições	Concentração (mg/L)
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8

Tabela 2: Diluições do azul de metileno

Fonte: Os autores

3.2.4 Tratamento da água contaminada

2 gramas de adsorvente foi adicionado aos béqueres e agitados por 60 minutos cada. As soluções foram filtradas em um papel quantitativo de filtração lenta para que fossem verificadas no espectrofotômetro UV-VIS nos comprimentos de 290 e 665 nanômetros (nm), respectivos UV e Visível e, assim, determinar a concentração de corante adsorvido pela resina.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ponto de carga zero (pH_{pcz})

É uma propriedade essencial a ser definida pois caracteriza as forças eletrostáticas entre adsorvato e adsorvente, dos quais podem interferir no processo de adsorção. O valor do ponto de carga zero (pH_{pcz}) foi determinado pela média dos pHs nos quais os valores finais se estabilizaram, mostrando um comportamento tampão na superfície da resina, independentemente do pH inicial.

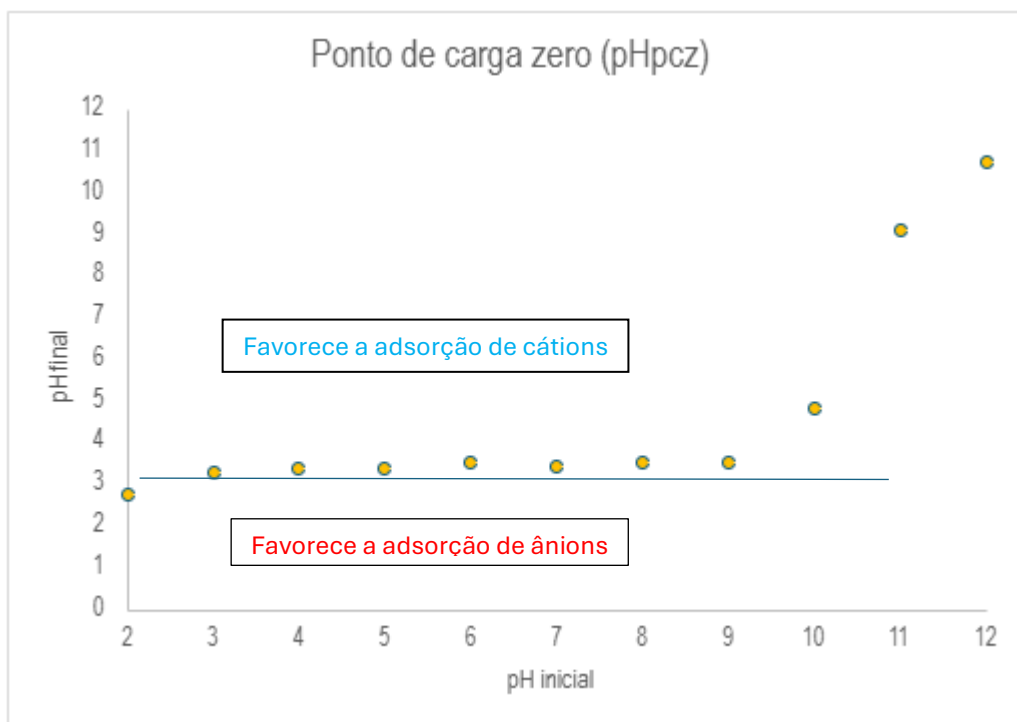


Figura 7: curva de determinação do pH_{pzc}

Fonte: Os autores

No caso da resina derivada da casca de laranja lima, o pH_{pzc} identificado foi de 3,42, destacando seu caráter ácido. Esse valor está diretamente associado à presença de grupos funcionais ácidos, como os grupos carboxílicos e fenóis presentes na estrutura (Souza et al., 2020). Além disso, a região que se manteve na faixa de pH de 3,0 a 9,0, pode indicar a predominância de grupos funcionais carregados negativamente, o que favorece a interação com cátions em solução (Silva e Ferreira, 2021).

4.2 Varredura do Azul de Metileno

Determinou-se em qual comprimento de onda o azul de metileno absorve mais luz através de uma varredura, o que é primordial para garantir e quantificar com precisão concentrações remanescentes de corante ainda presente nas soluções filtradas com o bioadsorvente. Portanto, identificou-se no comprimento de onda UV um pico máximo

em 290 nanômetros (nm) com absorbância de 0,276, e no comprimento visível, 665 nm com 0,840 como mostrado na figura 8.

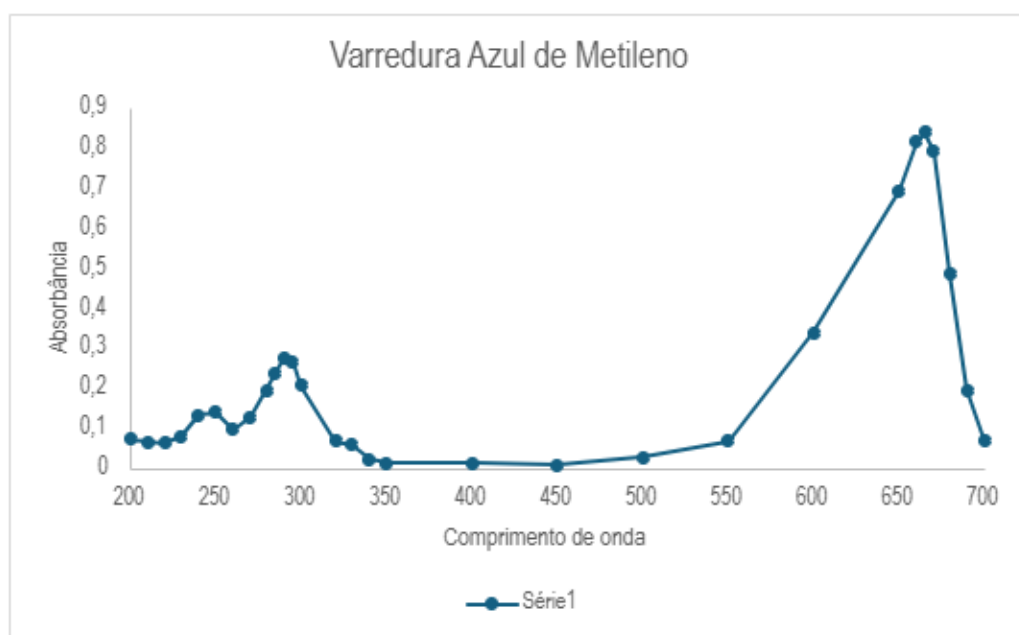


Figura 8: Varredura do azul de metileno no comprimento de onda UV e Visível

Fonte: Os autores

4.3 Curva de calibração

A partir da definição de 290nm e 665nm como comprimentos de onda com maior absorbância da luz, realizou-se uma curva de calibração com 8 soluções de azul de metileno diluídas a partir da solução padrão de $4,69 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$. A partir da fórmula de diluição $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$, preparou-se as soluções para que, respectivamente, correspondessem a 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8mg/L de concentração do corante.

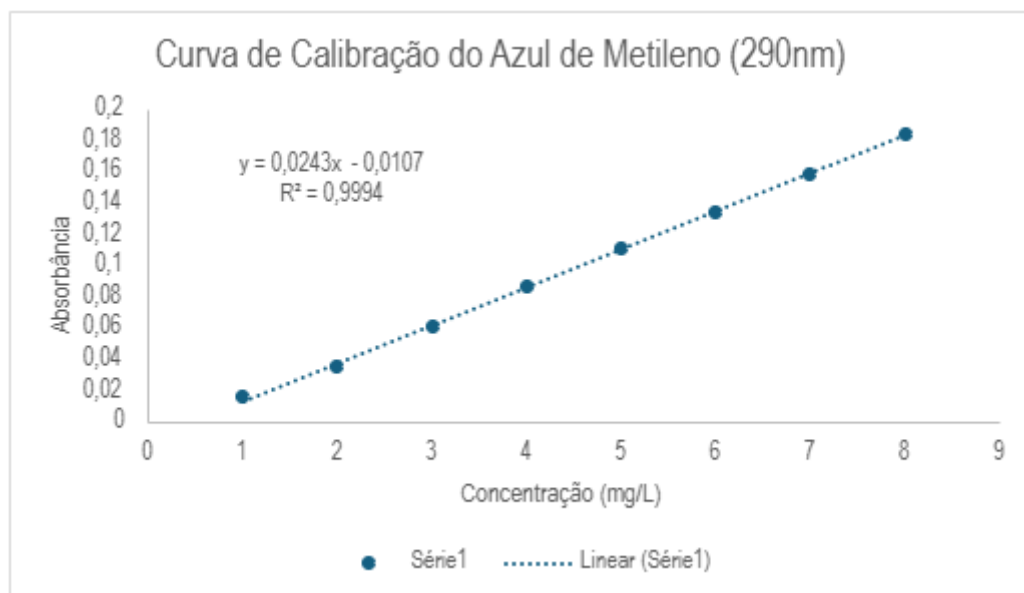


Figura 9: Curva de calibração das soluções de azul de metileno (290nm)

Fonte: Os autores

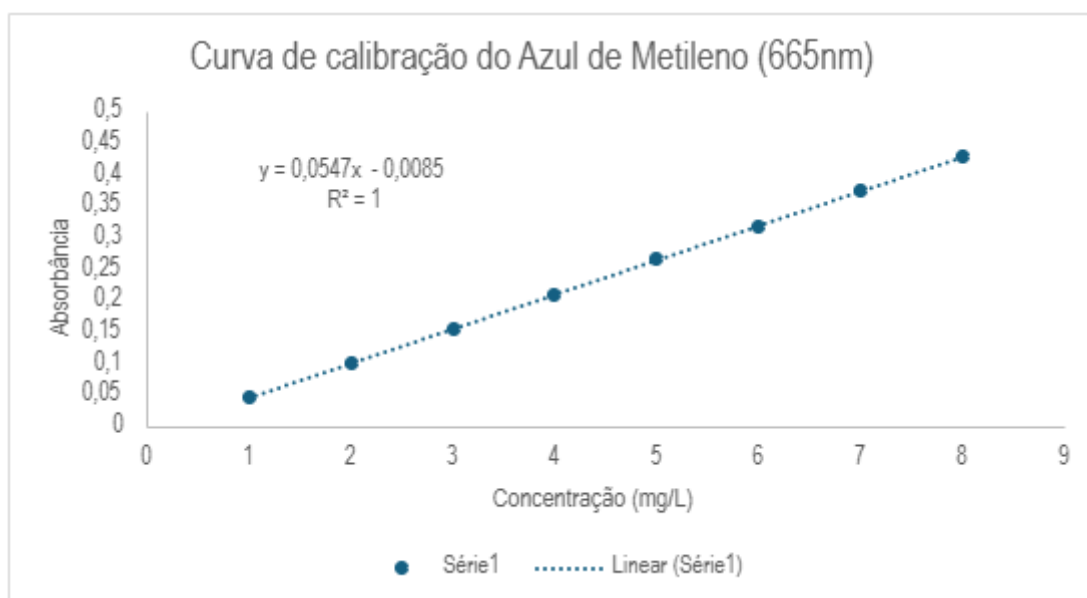


Figura 10: Curva de calibração das soluções de azul de metileno (665nm)

Fonte: Os autores

Com isto, definiu-se o valor da equação da reta, que posteriormente será necessária para avaliar o quanto de corante foi adsorvido pela resina. Os valores de R^2 se revelam excelentes, uma vez que estão próximos de 1, garantindo assim uma linearidade. A linearidade entre a concentração de corante e a absorbância é crucial, pois garante que os resultados obtidos sejam precisos e reprodutíveis. Testes realizados por Silva et al. (2017) indicam que a linearidade da curva de calibração é um fator determinante para a confiabilidade dos resultados analíticos em espectrofotometria. (SILVA, J. P. et al. 2017)

4.4 Recuperação das Soluções Contaminadas

A resina demonstrou um elevado potencial de retenção para o azul de metileno em soluções aquosas. Com um pH ajustado para 4,32 (acima do pH_{pcz}) apresentou uma capacidade de adsorção significativa, destacando-se como um bioadsorvente eficiente e de baixo custo para o tratamento de efluentes contendo corantes.

Conc. inicial (mg)	Massa de resina (g)	Conc. final	Massa adsorvida (mg)	Eficiência (%)
1	2	0,325	0,675	67,5
2	2	0,458	1,542	77,1
3	2	0,961	2,039	67,97
4	2	0,173	3,827	95,68
5	2	0,429	4,571	91,42
6	2	1,125	4,875	81,25
7	2	1,398	5,602	80,03
8	2	1,638	6,362	79,53
				$\bar{x} = 80,06$

Tabela 3: Potencial de remoção do corante pelo adsorvente da casca da laranja lima

Fonte: Os autores

A resina foi capaz de adsorver, no seu ápice, 6,36mg do adsorvato presente na solução 8, contendo 8mg/L de azul de metileno, do qual apresentou um relevante potencial de retenção em soluções aquosas e eficiência total de 80,06%, com um pH ajustado para 4,32 (acima do pH_{pcz}). Este desempenho reflete a interação favorável entre o corante e os grupos funcionais presentes na superfície do bioadsorvente, potencializada pelo pH específico, otimizando a remoção do contaminante das soluções. Segundo estudos realizados por Santos et al. (2016), a utilização de resíduos agroindustriais, como a casca de frutas, tem se mostrado promissora para a remoção de corantes de efluentes, com resultados comparáveis aos de adsorventes comerciais de alto custo. (SANTOS, L. M. et al. 2016).

4.6 Reutilização da resina

Ao final do tratamento, o bioadsorvente foi utilizado como adubo para plantas e solos realizando a neutralização com $CaCO_3$. Para isso, foi retirado o corante remanescente na casca através da lavagem com uma solução de HCl 0,05 mol/L, e o volume final gerado foi neutralizado com NaOH 0,05 mol/L e armazenado.



Figura 11: Pequena succulenta na terra adubada com a resina

Fonte: Os autores

Reação da resina tratada com CaCO_3 :



O pH final ajustado foi de 7,22, o que está dentro dos limites impostos pelo Ministério da Agricultura (MAPA, Brasil. Instrução Normativa nº05, 2016).

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

A análise dos dados sobre a resina derivada da casca de laranja lima destaca um avanço significativo no tratamento de resíduos líquidos contaminados por corantes, como o azul de metileno. A eficiência na remoção do adsorvato revela um potencial promissor para o uso como uma alternativa econômica e ecológica aos adsorventes comerciais convencionais. É fundamental que novas investigações sejam realizadas para avaliar o desempenho em diferentes condições operacionais, como pH e temperatura e com outros tipos de poluentes. Estudos em larga escala e testes em ambientes reais podem fornecer dados valiosos sobre a viabilidade da implementação dessa tecnologia em sistemas de tratamento de águas residuais. Ao integrar métodos modernos, como esse ao manejo dos efluentes, pode-se avançar significativamente na luta contra a poluição hídrica e na promoção de um futuro mais sustentável.

6 REFERÊNCIAS

1. APEEL, C.; MA, L. Q.; RHUEL, R. D. Point of zero charge determination in soils and minerals via traditional methods and detection of electroacoustic mobility.
2. AVALIAÇÃO DO RESÍDUO CASCA DE LARANJA NA OBTENÇÃO DE PECTINA E ÓLEO ESSENCIAL - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Partes-que-compoem-a-laranja_fig3_273762050.
3. Brown, A. (2020). "Environmental Impacts of Methylene Blue". Journal of Environmental Chemistry, 25(3), 459-465.
4. CALCIOLARI, A. R.; PIRES, N. J.; TRUGILHO, P. F.; GUIMARÃES JUNIOR, M. Remoção do corante azul de metileno de solução aquosa usando biomassa de pele prata de café como bioadsorvente de baixo custo. Revista Matéria, v. 27, n. 3, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2022-0141>.
5. Figueira, C. D. Determinação Espectrofotométrica de Azul de Metileno na Presença de Verde de Malaquita em Antiparasitários de Uso Veterinário. Tese de Mestrado, 2012.
6. FOGUEL, M.V., SOTOMAYOR, M.P.T. "Polímero Molecularmente Impresso (MIP) como fase sensora e como sorvente", In: Zanoni, B., Yamanaka, H. (eds), Corantes: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento, 1 ed., capítulo 12, São Paulo, Cultura Acadêmica, 2016.
7. Kim, M. H., & Park, S. (2018). "Toxicological Effects of Methylene Blue". Environmental Science & Technology, 52(14), 8201-8209.
8. Lee, C. Y., & Chang, T. (2019). "Challenges in Wastewater Treatment: Methylene Blue". Water Research, 156, 302-309.
9. Martínez, A., & Gómez, P. (2021). "Analytical Challenges of Methylene Blue in Environmental Samples". Analytical Chemistry, 93(15), 6002-6011.
10. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 05, de 10 de março de 2016. Regulamento técnico para fertilizantes. Disponível em: www.gov.br/agricultura.
11. Moura, L. et al. "Estudos de Adsorção em Biomateriais com Grupos Ácidos Funcionais." Journal of Environmental Chemistry, 2018. Disponível em: <https://www.journalenvchem.com/moura2018>.
12. NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do et al. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020. Disponível em: Repositório UFC.

13. Oliveira, A. T. de. (2023). Avaliação da capacidade de adsorção do capim elefante na remoção de cromo em leito fixo. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).
14. Santos, M. C., & Oliveira, R. F. (2019). Biotransformation of Agro-industrial Residues. Academic Press.
15. SANTOS, L. M.; SILVA, C.A.; CARVALHO, D.S.; PEREIRA, J.S.; CASTRO, P.R. Adsorção de corantes têxteis em resíduos agroindustriais. Revista Brasileira de Engenharia Química, v. 33, n. 3, p. 971-983, 2016.
16. SARDAR, M., MANNA, M., MAHARANA, M. et al. "Remediation of dyes from industrial wastewater using low-cost adsorbents." In: Inamuddin, M. I. A., Lichtfouse, E., Asiri, A. M. (eds), Green adsorbents to remove metals, dyes and boron from polluted water, v. 49, capítulo 15. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2021. doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-47400-3_15.
17. Silva, A.L., Souza R.A., & Pires D.C. (2020). "Chemical Composition and Applications of Citrus Sinensis var. Lima". Food Chemistry, 315, 126282.
18. SILVA, J.P.; SOUZA, M.R.; LIMA, R.P.; CARVALHO, A.G. Análise de corantes em efluentes por espectrofotometria: influência da linearidade na precisão dos resultados. Química Nova, v. 40, n. 7, p. 825-830, 2017.
19. Silva, C.A., Ferreira, J.P. "Caracterização de Superfícies e Interações Químicas de Bioadsorventes." Química Nova, 2021. Disponível em: <https://www.quimicanova.org.br/artigo2021>.
20. Smith, J. (2022). Chemistry of Dyes and Pigments. Academic Press.
21. SOUZA, R.F. et al. "Ponto de Carga Zero e Adsorção em Materiais Vegetais." Revista Brasileira de Adsorção, 2020. Disponível em: <https://www.rbadsorcao.com.br/artigo2020>.
22. Usberco, J. & Salvador, E. (2017). Química Ambiental e Tóxica. São Paulo: Editora Moderna.
23. Worch, E. Adsorption Technology in Water Treatment: Fundamentals, processes and modeling. [S.l]: De Gruyter, 2012.