

PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO OBTIDO DA CASCA DA LARANJA PARA ADSORÇÃO DO CORANTE INDIGO BLUE

Ana Julia Vaz Romano¹
Camilly Cristina Braga Coelho²
Gustavo de Melo Campos³
Izabelly Ferreira Alves da Silva⁴
Jhonny Frank Sousa Joca⁵
Maria do Socorro Sousa Silva⁶

Resumo: A poluição hídrica por corantes usados em indústrias têxteis é um problema ambiental crítico, pois esses compostos, como o corante Indigo Blue, oferecem um grande risco aos corpos hídricos e as formas de vida aquáticas, uma vez que impossibilitam a penetração de luz na água, alterando a capacidade fotossintética do meio. A adsorção com materiais de baixo custo, como resíduos agroindustriais, surge como alternativa eficiente para o tratamento desses efluentes. Este estudo investiga o carvão ativado obtido a partir da casca de laranja, como adsorvente do corante Indigo Blue. A casca de laranja foi coletada, de fornecedores locais, seca e triturada, separando em duas amostras denominadas D e E que passaram por ativação química com ácido fosfórico 85% (H₃PO₄), respectivamente, na proporção 1:1 e 1:1,5. Posteriormente, sendo carbonizada na mufla a 200°C. A eficiência adsortiva foi avaliada por meio da leitura da absorbância no espectrofotômetro UV-Vis em relação ao tempo de contato com a solução e variação de massa do carvão. Os resultados indicaram que o carvão ativado produzido possui estrutura porosa favorável à adsorção do corante, apresentando uma taxa de adsorção da solução de 100% após 60min com 1 g de ambas as amostras D e E. Ademais, a redução de massa das amostras manteve resultados satisfatórios. Portanto, conclui-se que o carvão feito a partir da matéria orgânica utilizada é um adsorvente alternativo para o Indigo Blue, sendo necessário em trabalhos futuros fazer sua comparação com o carvão comercial, além de explorar diferentes caracterizações do carvão.

Palavras-Chave: Indigo Blue, carvão ativado, casca de laranja, adsorção.

¹Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – ana.romano@etec.sp.gov.br

²Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – camilly.coelho@etec.sp.gov.br

³Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – gustavo.campos60@etec.sp.gov.br

⁴Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – izabelly.silva14@etec.sp.gov.br

⁵Professor do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – jhonny.joca@etec.sp.gov.br

⁶Professora do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – maria.silva2473@etec.sp.gov.br

Abstract: Water pollution by dyes used in the textile industry is a critical environmental problem, as these compounds, such as the Indigo Blue dye, pose a great risk to hydric bodies and aquatic life, as they make it impossible for light to penetrate the water, altering the photosynthetic capacity of the environment. Adsorption with low-cost materials, such as agro-industrial waste, has emerged as an efficient alternative for treating these effluents. This study investigates activated carbon obtained from orange peel as an adsorbent for the dye Indigo Blue. The orange peel was collected from local suppliers, dried and crushed, and separated into two samples called D and E which underwent chemical activation with 85% phosphoric acid (H_3PO_4), respectively, in a 1:1 and 1:1.5 ratio. They were then carbonized in a muffle furnace at 200°C. The adsorption efficiency was evaluated by reading the absorbance in the UV-Vis spectrophotometer in relation to the contact time with the solution and the variation in the mass of the charcoal. The results indicated that the activated carbon produced has a porous structure favorable to the adsorption of the dye, showing an adsorption rate of 100% of the solution after 60 minutes with 1 g of both samples D and E. Furthermore, reducing the mass of the samples maintained satisfactory results. It can, therefore, be concluded that the charcoal made from the organic material used is an alternative adsorbent for Indigo Blue, being necessary in future works, to compare it with commercial coal, as well as explore different characterizations of coal.

Keywords: Indigo Blue, activated carbon, orange peel, adsorption.

¹Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – ana.romano@etec.sp.gov.br

²Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – camilly.coelho@etec.sp.gov.br

³Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – gustavo.campos60@etec.sp.gov.br

⁴Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – izabelly.silva14@etec.sp.gov.br

⁵Professor do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – jhonny.joca@etec.sp.gov.br

⁶Professora do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – maria.silva2473@etec.sp.gov.br

1 INTRODUÇÃO

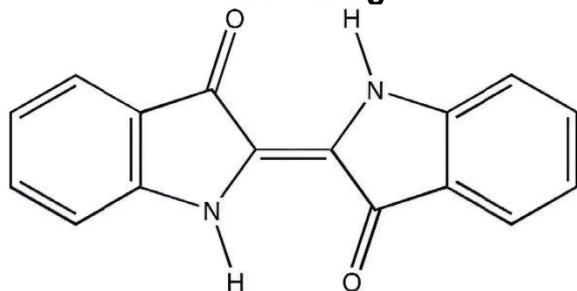
A indústria têxtil desfrutou de múltiplos processos e transições da sociedade, consolidando-se como uma das notáveis atividades econômicas mundiais. Segundo O'Neill *et al.* (1999), durante o processo de tingimento de um tecido, há uma certa quantidade de corante que não é absorvido pelo material, podendo variar de 2 a 50% do utilizado inicialmente, ocasionando em sua presença no efluente. Para Rajkumar *et al.* (2000), os efluentes gerados em indústrias têxteis, oferecem um grande risco aos corpos hídricos, uma vez que impossibilitam a penetração de luz na água, alterando a capacidade fotossintética do meio e, em conjunto, diminuem a solubilidade do oxigênio necessário para a manutenção das inúmeras formas de vida aquáticas. (Guaratini, Zanoni, 2000 e Ody, 2014).

1.1 Indigo Blue

O Indigo Blue é muito requisitado devido a sua coloração azulada, esse corante pode ser obtido em plantas que contenham o precursor indoxil ou produzido sinteticamente. A particularidade do índigo, sobretudo o sintético, em confronto com outros corantes é a sua capacidade de impregnar-se às fibras de algodão, diferentemente de corantes que se ligam covalentemente ao algodão. “Esta combinação, única de resistência aos detergentes e susceptibilidade à abrasão, torna o índigo insubstituível como um corante de denim, tecido usado para a confecção da calça jeans, contribuindo para a popularidade duradoura do denim azul.” (Hsu *et al.*, 2018 *apud* Coelho, 2019).

Em virtude da baixa solubilidade do pigmento índigo (Figura 1) em meio aquoso, é necessário que este seja reduzido a sua forma leuco índigo (Figura 2) para que sua utilização seja possível. Para Hossain *et al.* (2016), o agente redutor mais empregado industrialmente nesse processo, quando se trata de um tingimento de tecidos posterior, é o ditonito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) em solução alcalina. No entanto, outro método utilizado é a acidificação do índigo com ácido sulfúrico (H_2SO_4), sendo essa opção, não usada no cenário industrial. (Araujo, Iquisbola, Rodrigues 2020 e Galindo, Jacques, Kalt, 2001; Paschoal, Tremiliosi-Filho, 2005).

Figura 1 – Estrutura molecular do corante índigo



Fonte: Araujo, Isquibola, Rodrigues, 2020.

Figura 2 – Estrutura molecular do corante leucoíndigo



Fonte: Araujo, Isquibola, Rodrigues, 2020.

1.2 Carvão ativado

O carvão ativado, é um material carbonáceo e poroso e com grande área superficial, que foi previamente tratado para aumentar suas propriedades de adsorção (processo físico-químico de acumulação de um soluto em uma superfície ou interface sólida), podendo ser fabricada a partir de diversos materiais orgânicos, como resíduos de frutas, bagaço da cana-de-açúcar, restos de couro etc.

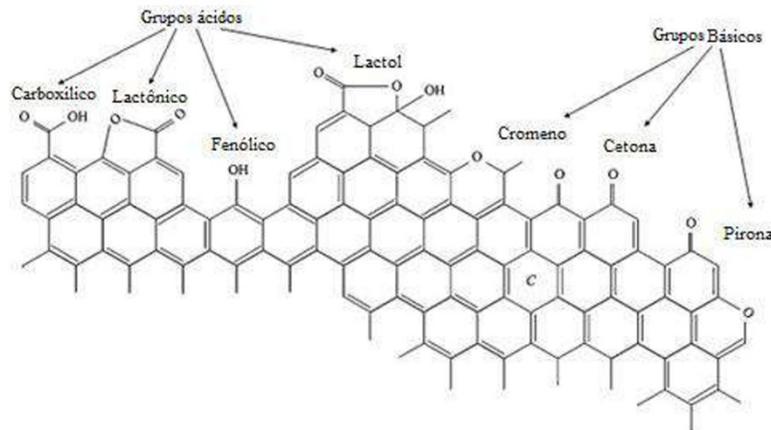
Segundo Bansal *et al.* (2005), as aplicações mais importantes do carvão ativo estão direcionadas ao tratamento de água, geralmente contaminada com corantes industriais, devido a sua alta área superficial por unidade de massa que faz com que o carvão possua uma elevada taxa de adsorção e um aumento em sua porosidade, ajudando em sua capacidade de purificar a água. Assim removendo odor, mau gosto, coloração, substâncias orgânicas e inorgânicas. (Magalhães, 2018; Domingues *et al.*, 2021)

Para a Cameron Carbon (2013), após o carvão passar pelo processo de ativação, são formados canais secundários (ou poros) nas paredes de sua estrutura, sendo classificados em macroporos, mesoporos e microporos. Cada tipo de canal possui um tamanho específico funcionando como túnel para melhorar a capacidade adsortiva do carvão. Os poros são decorrentes da oxidação da superfície externa da matéria-prima. A superfície dos microporos é onde ocorre a maior parte do fenômeno da adsorção, enquanto os macros e mesoporos funcionam como caminhos por onde as moléculas são conduzidas até os microporos.

As propriedades químicas presentes nas lâminas aromáticas do carvão ativado, contém elétrons desemparelhados e valências residuais, sendo responsáveis pelo aumento da reatividade da superfície, por reações de superfície e pela catálise de reações. Além disso, é presente grupos oxigenados que aumentam a hidrofiliabilidade de sua estrutura, favorecendo a adsorção de espécies polares e

iônicas como os metais pesados (Figura 3). (Othmer *et al.*, 2003, *apud* Magalhães, 2018)

Figura 3 - Grupos ácidos e básicos presentes na superfície do carbono ativo.



Fonte: Magalhães, 2018.

1.3 Ativação do carvão

Sua produção e ativação envolve dois métodos: a ativação térmica e a ativação química. Na qual, a ativação química ocorre quando o material é impregnado com químicos fortemente desidratantes e oxidantes, como ácido fosfórico e cloreto de zinco. Em seguida, o material é aquecido entre 400 e 800 °C, passando por um processo chamado carbonização, onde impurezas como oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e enxofre são removidas, tornando o carbono o componente predominante no material.

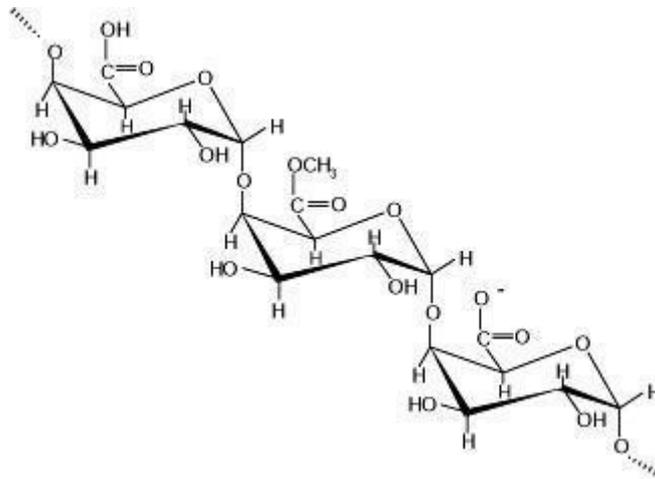
No caso do carvão ativado termicamente, a matéria prima passa, também, pelo processo de carbonização onde ela é pirolisada em temperaturas na faixa de 600 a 900 °C, na ausência de oxigênio e na presença de gases inertes. Os átomos de carbono residuais se arranjam em lâminas planas aromáticas interligadas, dando origem a porosidade do carvão. (Büchel *et al.*, 2000; Sontheimer *et al.*, 1988; Donau Carbon, 2013; Schobert, 2013, *apud* Magalhães, 2018)

1.4 Casca de laranja

Das matérias-primas que podem ser utilizadas para a substituição do carvão ativado convencional, o uso de biomassas para sua produção se torna uma possibilidade viável devido ao seu aproveitamento energético estar diretamente ligado ao desenvolvimento sustentável e a comercialização de seus subprodutos. (Bridgwater *et al.*, 1999; Huang *et al.*, 2011 *apud* Santos, 2015)

Para Formica, Brudzinski (2015), a casca da laranja destaca-se como matéria-prima viável para a produção do carvão ativado, uma vez que o Brasil é o maior exportador mundial do fruto e do suco de laranja. Dentro desse contexto, o principal subproduto que é de interesse na casca da fruta é a pectina, que está presente em 42,5% do albedo da laranja (parte interna da casca). A pectina é o principal produto do processamento industrial do fruto, e um potencial adsorvente devido a sua estrutura carbonácea (figura 4). (Marshall *et al.*, 1999; Souza *et al.*, 2012 *apud* Santos, 2015)

Figura 4 - Estrutura química da pectina.



Fonte: Formica, Brudzinski, 2015.

Carrasquero, Montiel e Andrade (2022), evidenciaram a eficácia do carvão ativado provindo da casca da laranja, por meio do estudo Capacidad adsortiva del carbón activado obtenido del epicarpio de *Citrus sinensis* en la remoción de indigotina, no qual apresenta resultados efetivos para a remoção da indigotina em efluentes, assemelhando-se aos valores obtidos da adsorção feita com carvão ativado comercial.

2. Objetivos

Este trabalho tem como propósito efetuar amostras de carvão ativado proveniente da casca de laranja, com o intuito de avaliar seu potencial de adsorção do corante Indigo Blue.

3. Metodologia

3.1 Materiais

Para o preparo do carvão ativado foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: cascas de laranjas doadas por comerciantes locais; forno elétrico PFE42P 38L (Philco, Estados Unidos da América); forno elétrico 9741-79183 Gourmet Grill 44L (Fischer, Brasil); forno de fogão Efficient Fe4is (Eletrolux, Suécia); liquidificador eletrodoméstico PH900 (Philco, Estados Unidos da América); peneira de análise granulométrica 10 mesh, (A Bronzinox, Brasil); peneira de análise granulométrica 20 mesh (The W. S Tyler Company, Estados Unidos da América); H_3PO_4 85% P.A (Nuclear, Brasil); estufa (Ero Eletronic, Reino Unido); mufla (Fornitec – IND. E COM. LTDA, Brasil); agitador mecânico NI 1137 (Nova Instrumente, Brasil); pHmetro (MS TECNOPON, Brasil); balança analítica AY220 (Shimadzu do Brasil, Filipinas).

Para as soluções de índigo blue utilizou-se os reagentes e dispositivos listados a seguir: H_2SO_4 98% (Neon, Brasil); índigo blue (BASF, Brasil); chapa de agitação magnética e aquecimento (Nova Técnica, Brasil); capela de exaustão (Lucadema científica, Brasil); balança analítica AY220 (Shimadzu do Brasil, Filipinas); micropipeta variável (Joanlab, China).

Por fim, o processo de adsorção foi realizado com o auxílio dos aparatos: agitador mecânico NI 1137 (Nova Instrumente, Brasil); chapa de agitação magnética e aquecimento (Nova Técnica, Brasil); papel de filtro quantitativo, filtração lenta (Química Moderna, Alemanha); espectrofotômetro UV-Visível (EduTec, Brasil).

3.2 Métodos

3.2.1 Preparo das cascas de laranja

As cascas de laranja utilizadas para a produção do carvão ativo, deram-se do resíduo de quatro restaurantes locais, no município de Santo André. Para melhor e mais fácil compreensão dessa etapa, segue o fluxograma a seguir contendo os procedimentos adaptados de Magalhães (2018), realizados para o preparo das amostras:

Figura 5 – Fluxograma da preparação das cascas de laranja



Fonte: Os autores, 2024.

3.2.2 Síntese das amostras de carvão

Para a obtenção das amostras de carvão, realizou-se o método adaptado de Carrasquero, Montiel e Andrade (2022). Buscando melhor comparação nos resultados, fez-se duas amostras de carvão. Sendo elas, denominadas D e E, ativadas quimicamente com H_3PO_4 85% na proporção 1:1 e 1:1,5 (g de amostra: mL de ácido). Para a síntese dos carvões, utilizou-se 20 gramas do material seco. Segue abaixo, o fluxograma exemplificando o processo de obtenção dos carvões:

Figura 6 - Esquematização do processo de ativação do



carvão

Fonte: Os autores, 2024.

3.2.3 Preparo da solução de Indigo

Para o preparo da solução a ser adsorvida, o método escolhido foi adaptado de Oliveira *et al.* (2020). Inicialmente, pesou-se 0,1 g de Indigo Blue em um béquer e, posteriormente, adicionou-se 3,5 mL de H₂SO₄ 98%. Colocou-se a amostra em agitação e aquecimento por uma hora a 80°C. Em seguida, transferiu-se a solução para um balão volumétrico de 100 mL e avolumou-se, fazendo-se assim, a solução estoque.

Para a realização da varredura, foi feita uma diluição de 2:100 mL da solução-estoque, que foi lida na faixa de comprimento de onda de 550 a 615 nm.

Figura 7 – Fluxograma exemplificando o preparo da solução de Indigo

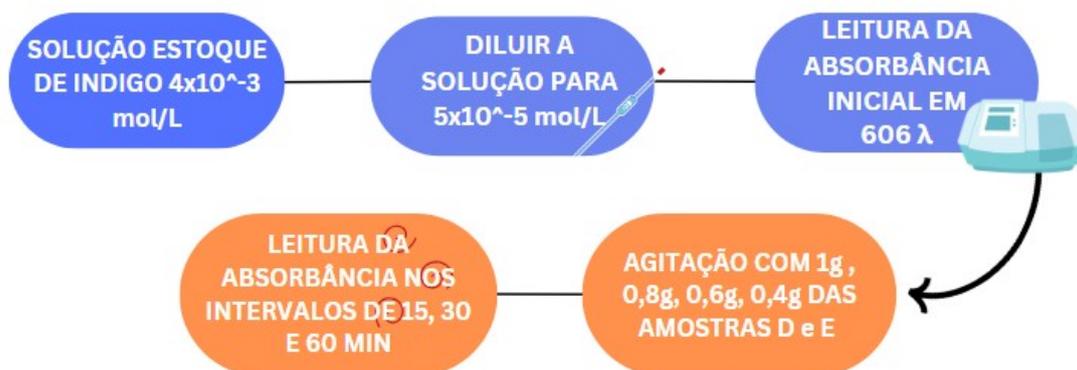


Fonte: Os autores, 2024.

3.2.4 Teste de adsorção

Utilizando a solução-estoque de Índigo, realizou-se diluições para confecção do teste de adsorção com as amostras de carvões. O material adsorvente utilizado foi testado realizando uma secagem prévia de, aproximadamente, 24 horas em estufa. A vertente metodológica seguiu o processo do fluxograma abaixo:

Figura 8 - Representação gráfica da realização dos testes de adsorção



Fonte: Os autores, 2024.

Ao passar por cada intervalo de tempo, a agitação da amostra foi interrompida e realizou-se uma filtração de, aproximadamente, 3 mL da solução, filtrados com papel de filtro quantitativo, filtração lenta (Química Moderna, Alemanha), posteriormente, sendo medido pelo espectrofotômetro no comprimento de onda de 606nm. A quantidade remanescente da solução não filtrada, foi colocada de volta em agitação até o próximo intervalo, repetindo o mesmo processo até o tempo estimado de 60 minutos.

4 Resultados e Discussão

4.1 Carvão ativado

As figuras 1 e 2 trazem as amostras de carvão ativado empregando como material precursor a casca de laranja, no qual a amostra D (Figura 9) ativou-se com ácido fosfórico (H_3PO_4) na proporção de 1:1 (1 g de casca de laranja para 1 mL de ácido), e a amostra E (Figura 10), ativado igualmente com H_3PO_4 , na proporção 1:1,5 (1 g de casca de laranja para 1,5 mL de ácido).

Figura 9 – Amostra D obtida por ativação com H_3PO_4 1:1



Fonte: Os autores, 2024.

Figura 10 - Amostra E obtida por ativação com H_3PO_4 1:1,5



Fonte: Os autores, 2024.

A amostra D (1:1), apresentou-se como um pó seco e poroso, enquanto a amostra E (1:1,5) possui aspecto de pó úmido, mas igualmente poroso.

Para Snoeyink (1990); Di Bernardo *et al.* (2005), *apud* Magalhães (2018), a granulometria do material adsorvente é um fator que deve-se considerar nos ensaios de adsorção, em que será obtido maior valor de taxa de adsorção carvões que apresentam menor granulometria, uma vez que o tempo demandado para o transporte dentro dos poros é definido pelo tamanho do grânulo. É importante salientar que para a síntese dos carvões e execução dos testes de adsorção não

considerou-se a dimensão do grão, contudo, conferiu-se a granulometria das amostras, sendo esta entre 20 e 65 mesh.

Por fim, verificou-se o pH das amostras D e E, tendo como valores 1,45 e 1,26, respectivamente, não sendo necessário o ajuste de pH do carvão ativado.

4.3 Solução de Indigo Blue

Inicialmente, em concordância com o método desenvolvido por Oliveira *et al.* (2020), reduziu-se o Indigo Blue para a sua estrutura leucoindigo através da acidificação com ácido sulfúrico (H_2SO_4), com isso, obteve-se uma solução estoque de concentração 4×10^{-3} mol/L.

Para identificar o comprimento de onda de maior absorbância, realizou-se a diluição 2:100 mL da solução estoque, buscando-se uma solução de concentração 5×10^{-5} mol/L e pH de 1,92. Sucedeu-se a leitura das absorbâncias na faixa de 550 e 615 nm. Os espectros de adsorção do corante azul índigo foram registrados com máximos em 606 nm, ilustrado na Figura 11.

Figura 11 - Espectro de absorbância do Indigo Blue na faixa de 550 a 615 nm



Fonte: Os autores, 2024.

O estudo de caracterização do corante Indigo Blue publicado por Phuong, Thao Nguyen (2019) estipula 604 e 620 nm como o espectro de absorbância de valor elevado, semelhante aos resultados alcançados nessa pesquisa.

Em concordância com a Lei de Beer, conservou-se a concentração de 5×10^{-5} mol/L para a realização dos ensaios de adsorção, por esta apresentar absorbância próxima de 1. É importante mencionar que não executou-se o gráfico da curva de

calibração do índigo em razão da instabilidade dos valores de absorvância observados.

4.4 Ensaios de Adsorção

Para cada ensaio de adsorção utilizou-se 100 mL da solução aquosa de corante para as diferentes massas das amostras de carvão ativado D e E. Estipulou-se os valores de 1 g, 0,8 g, 0,6 g e 0,4 g de carvão com o intuito de averiguar sua eficácia na remoção da coloração do Índigo em diferentes quantidades de massa. Para tal, realizou-se a secagem prévia do carvão visando eliminar quaisquer vestígios de umidade que o material possa eventualmente adsorver.

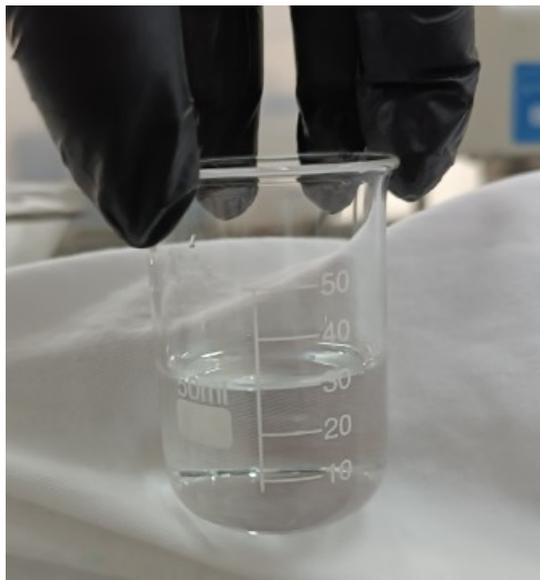
Alíquotas foram retiradas nos intervalos de 15, 30 e 60 minutos e analisadas em espectrofotômetro UV/Vis a fim de quantificar a diminuição da absorvância da solução após agitação com cada amostragem de carvão nos intervalos estipulados.

Figura 12 – Soluções 5×10^{-5} mol/L antes da agitação com carvão



Fonte: Os autores, 2024.

Figura 13 – Soluções 5×10^{-5} mol/L após agitação por 60 min com a amostra D



Fonte: Os autores, 2024.

Figura 14 – Soluções 5×10^{-5} mol/L após agitação por 60 min com a amostra E



Fonte: Os autores, 2024.

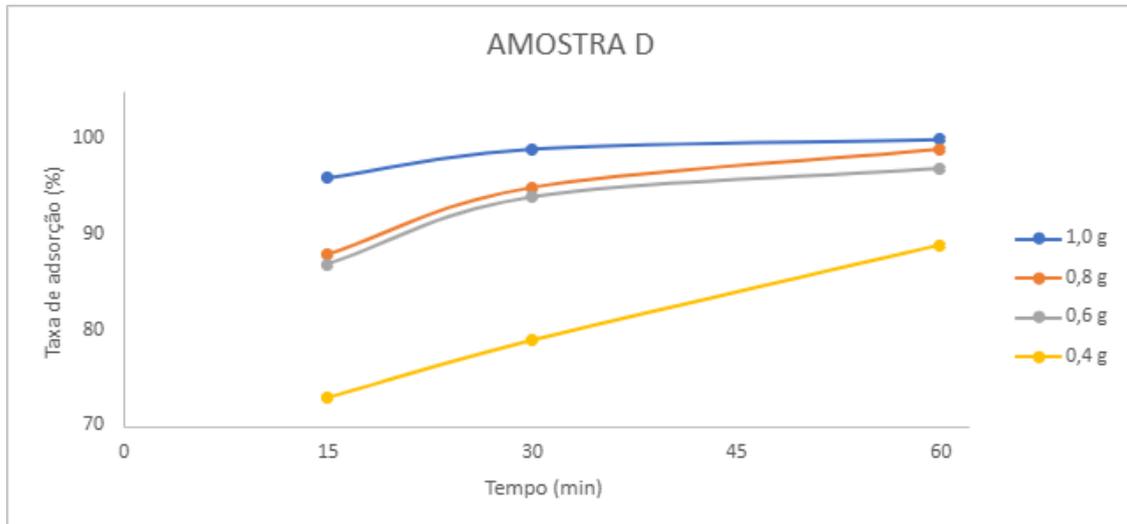
4.5 Cálculo da taxa de adsorção

Com o intuito de quantificar a taxa de adsorção, ou seja, a redução da absorvância após a adsorção, empregou-se a Equação 1. As informações de todos os ensaios de adsorção, juntamente com os resultados dos cálculos e as taxas de adsorção correspondentes, estão apresentadas nas Figuras 15 e 16, sendo que cada figura representa, respectivamente, as amostras de carvão D e carvão E.

$$\text{Taxa de adsorção (\%)} = \frac{A_i - A_f}{A_i} \times 100 \quad (1)$$

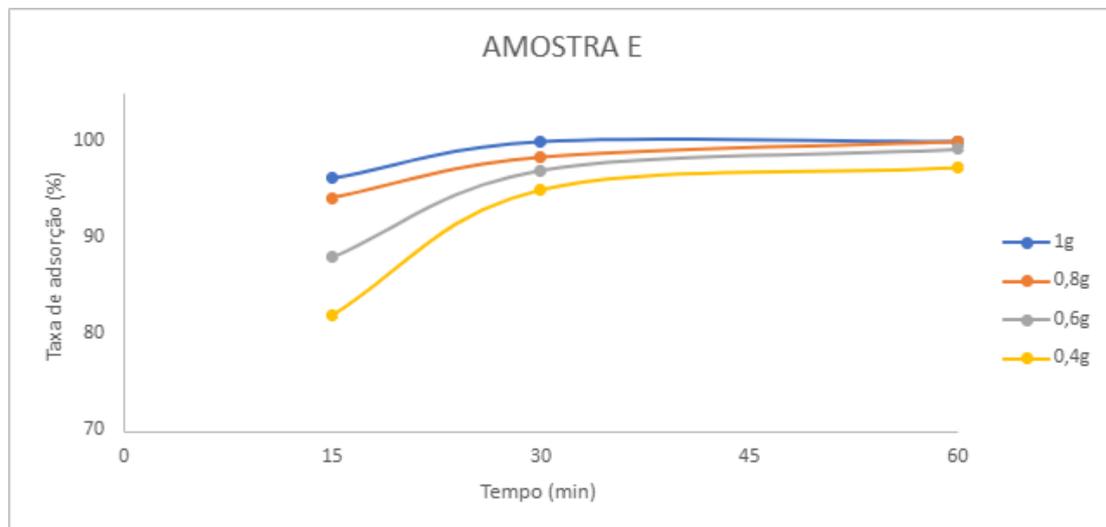
Nas quais: A_i refere-se a absorvância inicial da solução e A_f a absorvância da solução após a adsorção.

Figura 15 – Ensaio de adsorção da amostra D



Fonte: Os autores, 2024.

Figura 16 – Ensaio de adsorção da amostra E



Fonte: Os autores, 2024.

Em primeira análise, é fundamental ressaltar que tanto o tempo quanto a massa desempenham papéis essenciais no processo de adsorção. Os testes realizados com maior massa e tempo de agitação demonstraram uma significativa diminuição na absorvância e na coloração da solução.

Uma comparação sobre a redução da massa de carvão em relação à taxa de adsorção revelou que o carvão E, que foi ativado com uma maior quantidade de ácido fosfórico, mostrou uma diminuição mais eficaz da absorvência, mesmo com a redução de sua massa, evidencia-se isso nos ensaios de massa 0,4 g de ambas as amostras.

5. Considerações finais

O estudo permitiu concluir que a casca de laranja pode ser uma matéria-prima adequada para a produção de carvão ativado destinado ao tratamento de efluentes contendo o corante Índigo Blue. Os resultados obtidos indicam que foi possível obter materiais com propriedades adsorptivas satisfatórias após a ativação química com o ácido fosfórico nas amostras D e E. As espécimes ativadas demonstraram seguimentos positivos, com uma taxa de remoção de 100% em 1 hora de agitação, sendo assim, a melhor porcentagem de remoção de cor em ambas as espécies, e contendo as melhores resoluções. No entanto, mesmo em um período de tempo menor, de 15 e 30 minutos, as taxas de adsorção foram efetivas, com a diminuição das massas para eventuais testes, os percentuais de remoção de cor foram favoráveis, enfatizando a massa de 0,4 g da espécimen E que apresentou a melhor resulta das reduções de massa, devido a sua maior proporção de ácido na ativação.

Com tais resultâncias, conclui-se que o adsorvente produzido a partir das cascas da laranja é uma alternativa viável e sustentável para o tratamento de efluentes da indústria têxtil do jeans, no quesito de remoção de cor (corante índigo blue). Essa rota de aproveitamento, gera um ciclo de vida sustentável para este resíduo orgânico, ocasionando um produto com valor agregado e capaz de tratar efluentes industriais, minimizando a poluição hídrica. Para a continuidade do trabalho e estudos futuros, o carvão poderia ser aprimorado ao ponto de ser uma alternativa para substituir o carvão comercial, e procurar meios para o tratamento da água residual, dado que o pH do carvão não foi alterado, além de averiguar novos processos de adsorção com as soluções de índigo em maiores concentrações.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Henrique Nascimento; IQUIBOLA, Guilherme; RODRIGUES, Emanuel Carlos. Estudo da degradação do corante Índigo Blue por meio de diferentes processos oxidativos avançados. **Sinergia, São Paulo**, v. 21, n.2 p. 133-136, jun./dez.2020.

BANSAL, R.P.; GOYA, M. Activated Carbon Adsorption, CRC Press. **Taylor & Francis Group**, 2005.

BRIDGWATER, A. V.; MEIER, D.; RADLEIN, D. An overview of fast pyrolysis of biomass. **Organic Geochemistry**, v. 30, n. 12, p. 1479-1493, 1999.

BÜCHEL, K.H.; MORETTO, H.H.; WODITSCH, P. **Industrial inorganic chemistry**, 2ª edição revisada, Wiley-VCH, 2000.

CAMERON CARBON. Disponível em: www.cameroncarbon.com/documents/carbon_structure.pdf. Acesso em 25 de outubro de 2024.

CARRASQUERO, Sedolfo; MONTIEL, Altamira Rosa Díaz; ANDRADE, Gilberto de Jesus Colina. CAPACIDAD ADSORTIVA DEL CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO DEL EPICARPIO DE Citrus sinensis EN LA REMOCIÓN DE INDIGOTINA. **Revista Bases de la Ciencia 7 (1)**, 1-16, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v7i1.3511>. Acesso em: 15 de set. de 2024

CARVALHO, Layde. T. SAMPAIO, Simone. F. M. “Adsorção”. **Portal: Moodle USP**. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6715797/mod_resource/content/1/Aula_Adso_rcao.pdf. Acesso em: 11 de abril de 2024.

CHOUDHURY, Asim Kumar Roy. Fabric dyeing and printing. In: CASSIDY, Tom (Ed.); GOSWAMI, Parikshit (Ed.). **Textile and clothing design technology**. Boca Raton: Taylor and Francis Group. Cap. 11, p. 281 – 332, 2018.

CHOUDHURY, Asim Kumar Roy. Fiber and filament dying. In: CASSIDY, Tom (Ed.); GOSWAMI, Parikshit (Ed.). **Textile and clothing design technology**. Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2018. Cap. 6, p. 109 - 142.

COELHO, Luciana. Estudo do tingimento com corante índigo natural para aplicação têxtil: a transdisciplinaridade do design contribuindo para uma proposta de material ecológico para a indústria do vestuário. **Mestrados UFMG**, 2019. Disponível em: <https://mestrados.uemg.br/ppgd-producao/dissertacoes-ppgd/category/90-2019?download=360:estudo-do-tingimento-com-corante-indigo-natural-para-aplicacao-textil-a-transdisciplinaridade-do-design-contribuindo-para-uma-proposta-de-material-ecologico-para-a-industria-do-vestuario>. Acesso em 30 de maio de 2024.

COLLIER, Billie J.; BIDE, Martin J.; TORTORA, Phyllis G. **Understanding Textiles**. 7 ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2009.

DOMINGUES, Lucas Fernandes *et al.* Produção de carvão a partir da casca de laranja ativado com cloreto de cálcio (CaCl_2) e sua aplicação em tratamento de água contaminada com nitrato (NO_3^-). **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, jan. 2021. p. 404-413. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2021/08/22544-57988-3-PB.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2024.

DONAU CARBON. Disponível em: <http://www.donau-carbon.com/Products-Solutions/Aktivkohle.aspx>. Acesso em 25 de outubro de 2024.

FERREIRA, Eber Lopes. **Corantes naturais da flora brasileira**: guia prático de tingimento com plantas. Curitiba: Optagraf editora e gráfica, 1998.

FORMICA, Barbara Costa; BRUDZINSKI, Patricia Balestrin. Caracterização e avaliação das propriedades adsorptivas da casca de laranja na remoção do corante direct blue 86. **Departamento acadêmico de química e biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, Curitiba. 2015. Disponível em: <http://static.sites.sbgq.org.br/rvq.sbgq.org.br/pdf/BarbaraNoPrelo.pdf>. Acesso em: 28 out. 2024.

GALINDO, C.; JACQUES, P.; KALT, A. Photochemical and Photocatalytic degradation of natural indigo dye: a case study Of acid blue 74 (AB74). **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, n. 141, 2001

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**, v. 23, p. 71-78, 2000.

HOSSAIN, Md. Delwar; KHAN, Md. Mashiur; UDDIN, Md. Zulhash. Fastness properties and color analysis of natural indigo dye and compatibility study of different natural reducing agents. **Journal of Polymers and Environment**, v. 25, n. 4, p. 1219-1230, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-016-0900-6>

HUANG, Y. F.; KUAN W. H.; CHIUEH, P. T. Pyrolysis of Biomass by Thermal Analysis–Mass Spectrometry (TA–MS) [J]. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 3527–3534, 2011.

LADCHUMANANANDASIVAM, Rasiah. **Processos Químicos Têxteis Volume III – Tingimento Têxtil**. 2. ed. rev. Natal: Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

MAGALHÃES, André Luiz Lourenço. Carvão ativado de casca de laranja aplicado como suporte catalítico para vanádio. **Pantheon Repositório Institucional da UFRJ**, 2018. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/20896>. Acesso em: 16 jun. 2024.

Meksi, N.; Kechida, M.; Mhenni, F. (2007) Cotton dyeing by indigo with borohydride process: Effect of some experimental conditions on indigo reduction and dyeing quality. **Chemical Engineering Journal**, 131, 187-193.

ODY, Daniel Augusto. Remoção de corantes têxteis de efluentes por adsorção com carvão ativado. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/109711/000950647.pdf88aefd079271f75ab1fb48c8b7bfb22bMD51TEXT000950647.pdf.txt000950647.pdf.txtExtracted;jsessi>

[onid=DC194CC733B598DC60D22243DEAC5DA3?sequence=1](https://www.sorocaba.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/PosCA/dissertacao-carolina-santos.pdf). Acesso em: 16 de junho de 2024.

OLIVEIRA, Ana *et al.* Fontes de biomassa e potenciais de uso 2. **Atena Editora**, 2020. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/fontes-de-biomassa-e-potenciais-de-uso-2>. Acesso em: 16 de setembro de 2024.

O'NEILL, F.; HAWKEES, R.; HAWKES, D.L.; LOURENCO, N.D; PINHEIRO, H.M.; WOUTER, D. Colour in textile effluents-sources, measurement, discharge consents and simulation. *Rev. J. Chem Technol. Biotechnol*, v. 74, 1999.

PHUONG, Thao Nguyen. Quantitative Analysis of Indigo by Ultraviolet-Visible Spectrophotometer and High-Performance Liquid Chromatography: Development of Analysis Methods. **University of Applied Sciences**, 2019.

RAJKUMAR, D.; KIM K. G. Oxidation of various reactive dyes with in situ electro-generated active chlorine for textile dyeing industry wastewater treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 136, o. 203-212, 2006.

SAIKHAO, Laksanawadee; SETTHAYANOND, Jantip; KARPKIRD, Thitinun; BECHTOLD, Thomas. Green reducing agents for indigo dyeing on cotton fabrics. **Journal of Cleaner Production**, v. 197, p. 106-113, 2018.

SANTOS, Carolina Monteiro. Uso de cascas de laranja como adsorvente de contaminantes no tratamento de água. **UNESP**, 2015. Disponível em: <https://www.sorocaba.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/PosCA/dissertacao-carolina-santos.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.

SCHOBERT, H. Chemistry of fossil fuels and biofuels, **Cambridge University Press**, 2013.

SONTHEIMER, H.; CRITTENDEN, J.; SUMMERS, R.S. Activated carbon for water treatment, 2ª edição, Forschungstelle Engler-Bunte Institute, **Karlsruhe University**, Germany, 1988.

TICHA, M. Ben; MESKI, N.; DRIRA, N.; KECHIDA, M.; MHENNI, M. F.. A promising route to dye cotton by indigo with an ecological exhaustion process: a dyeing process optimization based on a response surface methodology. **Industrial Crops and Products**, v. 46, p. 350-358, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669013000897>>. Acesso em 30 de maio de 2024.

UI-ISLAM, Shahid; RATHER, Luqman Jameel; SHAHID, Mohammad; KHAN, Mohd Ali; MOHAMMAD, Faqeer. Study the effect of ammonia post-treatment on color characteristics of annatto-dyed textile substrate using reflectance spectrophotometry. **Industrial Crops and Products**, v. 59, p. 337-342, 2014.

VAZ, Leonardo; Freitas, Patricia. Estudo qualitativo da adsorção do indigo blue (2,2-bis(2,3diidro-3-oxoindolilideno)) em resinas poliméricas. **Escola de Engenharia Mauá**. Disponível em: <https://maua.br/files/032015/202840383-ESTUDO-QUALITATIVO-DA-ADSORCAO-DO-INDIGO-BLUE-2-2-BIS-2-3-DIIDRO-3-OXOINDOLILIDENO-EM-RESINAS-POLIMERICAS.pdf>. Acesso em 30 de maio de 2024.