

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

ENSAIOS INICIAIS PARA APLICAÇÃO DO BIOCARVÃO DE AÇAÍ ATIVADO COMO ADSORVENTE NA REMOÇÃO DE 2-NAFTOL EM EFLUENTES

Lívia Francisca Araújo Dias¹, Maria Eduarda de Souza Sacre¹, Lília Togneri Marconsini¹, Lucas Destefani Paquini², Renato Ribeiro Passos¹, Luciene Paula Roberto Profeti¹, Demetrius Profeti¹.

¹Universidade Federal do Espírito Santo. Alto Universitário s/n – Guararema, 29500-000, Alegre, Espírito Santo, Brasil. liviadia77@gmail.com, dudasadre@gmail.com, liliatogneri@hotmail.com, renatoribeiropassos@hotmail.com, luciene.profeti@ufes.br, demetrius.profeti@ufes.br.

²Universidade Federal do Espírito Santo, Avenida Fernando Ferrari – 29075-910, Vitória, Espírito Santo-ES, Brasil. lucasdestefanip@hotmail.com.

Resumo

A geração de resíduos tóxicos contribui para a poluição de corpos d'água que, pela presença desses poluentes, afeta a saúde humana e o meio ambiente. A adsorção é um método eficaz para remover esses compostos, e a biomassa de açaí tem sido considerada um bom adsorvente de baixo custo. Compreender os ensaios iniciais de adsorção se torna crucial para o sucesso do processo, permitindo a análise dos mecanismos químicos e de transferência de massa, facilitando a remoção de poluentes. O presente trabalho investigou a adsorção do 2-naftol, substância considerada tóxica que pode ser encontrada em efluentes industriais, utilizando biocarvão produzido com resíduos de açaí. O estudo mostrou o efeito da concentração inicial 2-naftol na solução, onde houve estabilização a partir de 300 mg.L⁻¹, alcançando 84,28% de remoção do contaminante; o efeito do pH na adsorção, atingindo maior eficiência próximo ao pH 5,0, com 52,66% de remoção; e o efeito do tempo de contato, entre o biocarvão e o 2-naftol, alcançando equilíbrio em cerca de 720 minutos. Os resultados mostraram que o material é promissor para ser utilizado como adsorvente do 2-naftol.

Palavras-chave: Biocarvão. Ativação. Adsorção. Resíduo. Contaminante.

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra – Química.

Introdução

A atividade humana desempenha um papel crucial na geração de resíduos, abrangendo tanto os provenientes do setor industrial quanto os de origem diversificada. Dentre as indústrias que mais geram efluentes, as que utilizam corantes aos produtos são notáveis, devido à liberação significativa de resíduos tóxicos que resultam dessa prática, causando impactos ambientais substanciais (AQUINO NETO et al, 2011).

No que concerne os principais resíduos gerados pelo setor secundário, merece destaque o 2-naftol. Este composto, um dos principais derivados fenólicos, é um isômero do 1-naftol, distinto deste apenas pela posição do grupo hidroxila no anel naftaleno. Sua presença é frequente em efluentes de indústrias químicas que lidam com corantes, pesticidas, plásticos e borracha sintética, sendo classificado como poluente orgânico persistente (XU et al., 2018).

A introdução de tais poluentes em corpos d'água leva à contaminação desses recursos, com efeitos adversos sobre a saúde humana e a fauna. Por isso, a busca por métodos de remoção desses compostos tóxicos é crucial e abrange alternativas químicas, físicas, físico-químicas e biológicas. Um método destacado nesse contexto é a adsorção (SANTOS et al., 2008).

Dentro do escopo dos processos adsorptivos, evidencia-se a eficácia e a alta taxa de remoção desses poluentes. Embora os carvões ativados se destaquem por sua capacidade de adsorção de compostos orgânicos, seus custos restringem sua aplicação em larga escala, impelindo os pesquisadores a procurar substitutos mais acessíveis (BULUT; AYDIN, 2006).

Recentemente, a atenção voltou-se à busca de adsorventes de baixo custo em relação aos carvões ativados. Nesse contexto, derivados de resíduos de biomassas agrícolas e materiais naturais vêm sendo estudados para a remoção de corantes em soluções aquosas, demonstrando resultados eficazes e satisfatórios (HAMEED; AHMAD, 2009). Dentre as diversas biomassas disponíveis, os

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

resíduos de açaí se tornam proeminentes, principalmente quando se assinala o cenário extrativista brasileiro, com uma cultura crescente e que gera consideráveis resíduos anualmente.

Conforme a Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) de Florence Rios Serra (2020), o Tocantins se sobressai como o principal produtor de açaí, com taxas de crescimento de produção atingindo até 739%. No entanto, grande parte desse volume resulta em resíduos (caroços) sem destino econômico adequado. Esses resíduos muitas vezes são descartados em rios e aterros sanitários, sem tratamento prévio (FARINAS et al., 2009). Diante dessa realidade, a busca por formas de aproveitamento desses subprodutos ganha relevância.

Dentre as opções consideradas, a transformação dos resíduos de açaí em biocarvão por meio de tratamento térmico apropriado emerge como alternativa viável para uma gestão mais eficaz dos resíduos agroindustriais gerados. Isso oferece vantagens econômicas e ambientais, com baixos custos em comparação ao carvão ativado, eficiência elevada e reutilização da biomassa, minimizando o impacto ambiental.

Quanto a estudos que empregam biocarvões ativados no tratamento de efluentes contaminados por corantes, pesticidas, plásticos e outros poluentes, a compreensão da cinética do processo de adsorção é essencial. Isso possibilita a análise detalhada do mecanismo subjacente ao processo de adsorção. De forma geral, essas pesquisas desempenham um papel crucial na investigação das reações químicas envolvidas e na avaliação de processos controlados por difusão e/ou transferência de massa (NASCIMENTO, 2014). Além disso, a abordagem cinética bem desenvolvida permite a determinação de outras características fundamentais do processo, contribuindo para uma avaliação abrangente da remoção de contaminantes de efluentes sintéticos por meio da adsorção. Nesse contexto, a presente pesquisa buscou explorar a viabilidade da utilização de biocarvão gerado por meio da pirólise do caroço de açaí como um material adsorvente para a remoção do contaminante 2-naftol em um ambiente aquoso. Com esse objetivo, análises empregando uma abordagem de testes iniciais foram realizadas sob efeito da concentração inicial de 2-naftol, efeito do pH da solução em que o contaminante está inserido e o tempo de contato da adsorção, a fim de avaliar as condições adequadas para uma remoção satisfatória do contaminante em meio aquoso.

Metodologia

A obtenção da matéria prima utilizada na produção dos biocarvões se originou do resíduo de processamento de açaí, composto majoritariamente pelo caroço do fruto, fornecido por produtores localizados no sul do estado do Espírito Santo. Para a produção do biocarvão (antes da ativação), os resíduos de biomassa foram levados a uma estufa a uma temperatura de 100 – 105 °C por 1 h até apresentarem massa constante e estarem devidamente secos para serem submetidos ao tratamento térmico.

Após a secagem, o material foi pesado e manuseado para iniciar o processo de pirólise rápida, que foi conduzido em uma mufla com atmosfera inerte e controlada de N₂ e sem contato com oxigênio. O biocarvão foi produzido em 600 °C com tempo de permanência nessa temperatura por 180 min, com taxa de aquecimento de 6 a 10 °C.min⁻¹. Após a retirada da biomassa já pirolisada da mufla, o material foi pesado novamente e comparado com o valor anterior ao da queima, em seguida, com o uso de almofariz e pistilo, o biocarvão foi progressivamente macerado até atingir a granulometria acima de 100 mesh.

A ativação física do biocarvão foi realizada após o processo de classificação granulométrica, que consistiu em incluir uma determinada quantidade pesada de massa do biocarvão em um cadinho de titânio capaz de suportar altas temperaturas, onde o mesmo foi introduzido em um tubo de quartzo de um forno tubular devidamente vedado. A atmosfera do tubo de quartzo foi saturada com CO₂ com fluxo de 10 mL.min⁻¹, enquanto a temperatura foi aumentada seguindo uma rampa de 10°C.min⁻¹. Após alcançar a temperatura de 700° C, o biocarvão permaneceu na mesma por 3 h.

Para o efeito da concentração inicial, foi determinado um volume de 10 mL de solução contendo o contaminante em 10 amostras distintas com concentração de 50 ppm a 500 ppm em contato com 0,1 g de massa de adsorvente. As suspensões foram mantidas sob agitação controlada (100 rpm) e em temperatura controlada. As amostras foram coletadas, separadas por filtração com filtro de seringa e a concentração remanescente do corante na solução foi determinada por espectrofotometria na região do UV-vis, através do método de curva de calibração. A capacidade de adsorção foi calculada pela equação 1.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

$$q = \frac{(C_i - C_f) \cdot V}{m} \quad (\text{eq. 1})$$

Onde q ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) corresponde a quantidade de corante adsorvida por unidade de massa; C_i e C_f ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) são as concentrações iniciais e finais em solução, respectivamente; V (L) é o volume de solução e m (g) é a massa de adsorvente.

O efeito do pH inicial foi estudado variando seu valor de 2,0 a 12,0. Soluções 0,1 M de NaOH e HCl foram usadas para o ajuste do pH. Todas as medidas de pH foram realizadas com pHmetro (Digimed, DM-22) calibrado com soluções tampão de pH equivalente a 4,01 e 6,86. A concentração inicial da solução de 2-naftol foi de $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e as suspensões de foram mantidas sob agitação constante a 100 rpm, durante 24 horas na temperatura de aproximadamente 25°C . Por fim, o adsorvente foi separado das soluções por filtração com membrana, e a concentração residual de 2-naftol foi determinada por espectrofotometria na região do UV-Vis (Genesys, 10uv) a um comprimento de onda de 224 nm (máxima absorção). Nesta etapa, a capacidade de adsorção dos adsorventes foi avaliada com base na porcentagem de remoção, dada pela equação 2.

$$R(\%) = \frac{(C_i - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (\text{eq. 2})$$

Onde C_i é a concentração inicial de 2-naftol ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) e C_e é a concentração de 2-naftol no equilíbrio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$).

Os experimentos de adsorção foram realizados por avaliação do efeito do tempo de contato, utilizando 10,0 mL de solução contendo o 2-naftol em contato com 0,1 g de biocarvão. As suspensões foram mantidas sob agitação controlada e em temperatura ambiente. As amostras foram coletadas em diferentes tempos de contato, variando de 1 a 1440 min, separadas por centrifugação e a concentração remanescente do 2-naftol na solução foi determinada por técnicas de espectroscopia na região do UV-vis pelo método da curva de calibração. As quantidades de 2-naftol adsorvidas pelo biocarvão foram determinadas pela equação 3.

$$q_{eq} = \frac{(C_i - C_{eq}) \cdot V}{m} \quad (\text{eq. 3})$$

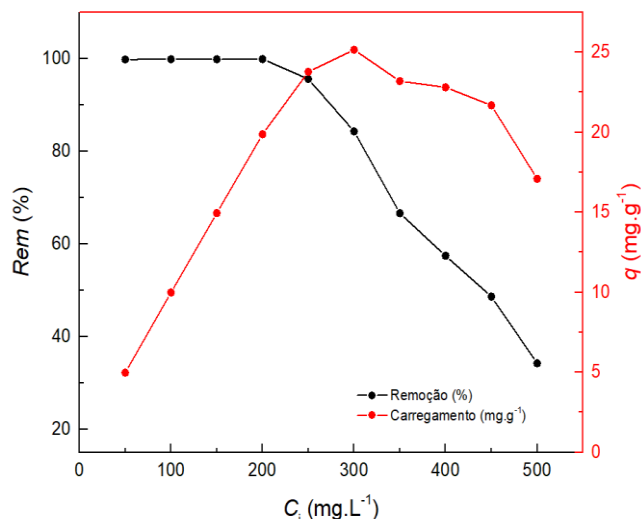
Onde q_{eq} corresponde à quantidade de 2-naftol adsorvida por unidade de massa de adsorvente ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$), C_i e C_{eq} representam, respectivamente, a concentração inicial e a de equilíbrio do 2-naftol ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), V representa o volume da solução (L) e m representa a massa do adsorvente (g).

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Resultados

O efeito da concentração inicial de 2-naftol na adsorção é apresentado na Figura 1.

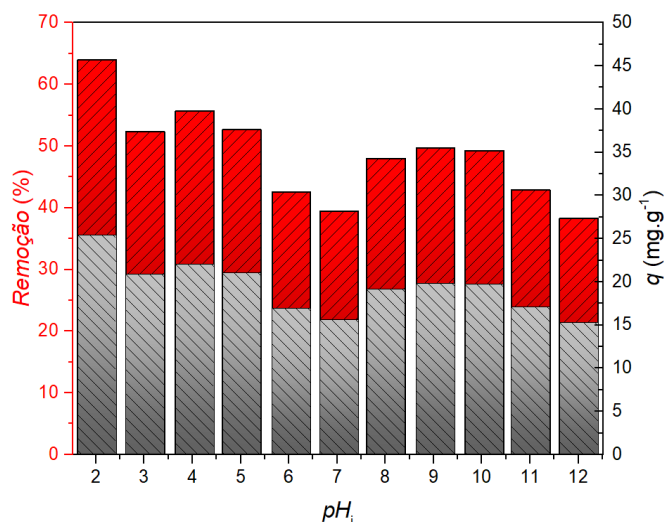
Figura 1 – Efeito da concentração inicial na adsorção de 2-naftol no biocarvão de açaí ativado com CO₂.



Fonte: O autor.

O efeito do pH na adsorção de 2-naftol em biocarvão de açaí ativado com CO₂ está mostrado na Figura 2, onde é possível observar que a capacidade de adsorção permaneceu aproximadamente constante na maioria dos intervalos de pH, alcançando um valor próximo de 21 mg.g⁻¹ em pH 5,0, removendo 52,66% da substância.

Figura 2 – Efeito do pH inicial na adsorção de 2-naftol no biocarvão de resíduos de açaí ativados com CO₂.

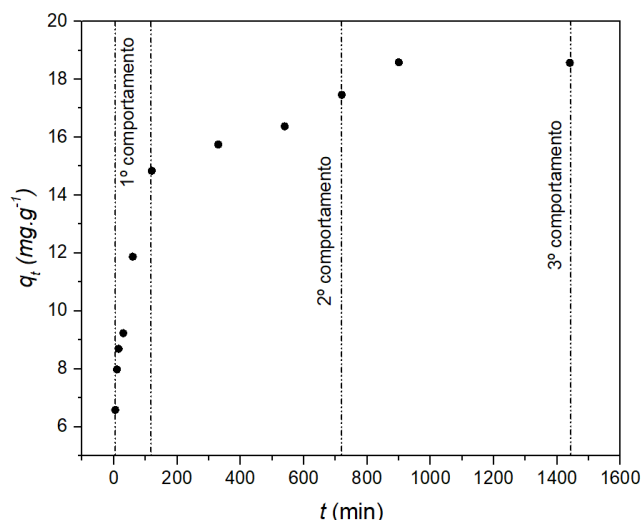


Fonte: O autor.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Na Figura 3 está mostrada a variação da quantidade de 2-naftol adsorvida em função do tempo de contato da adsorção. Observa-se graficamente o aumento significativo do carregamento do corante em relação ao tempo de contato entre 5 e 1440 minutos.

Figura 3 – Tempo de contato na adsorção de 2-naftol no biocarvão de resíduos de açaí ativados com CO₂.



Fonte: O autor.

Discussão

Através do efeito da concentração inicial (Figura 1), observou-se que a quantidade de corante adsorvida aumentou com o aumento da concentração inicial, sendo alcançado uma região de estabilização a partir do pico de 300 mg.L⁻¹, visto que nessa região não há variação considerável dos valores de q . Nesta concentração inicial, obteve-se uma remoção de 84,28% do adsorbato. (HAMEED, AHMAD, 2009;)

Embora os maiores valores de carregamento e remoção tenham sido obtidos em valores de pH na faixa ácida (Figura 2), os estudos acerca da remoção 2-naftol a partir do biocarvão serão conduzidos dentro da faixa de pH de 5,0 a 6,0, visto que em efluentes reais o ajuste do pH para faixas mais extremas é oneroso e constitui como uma etapa extra no processo de remoção. Esse comportamento indica que o pH da solução preparada para realização dos experimentos é favorável para adsorção do material, pois carga na superfície dos adsorventes e a ionização de vários solutos dependem do pH da solução em que estão presentes. (MALL et al., 2006; ROCHA, 2012).

A curva para o tempo de contato (Figura 3) evidência três comportamentos, o primeiro é um aumento rápido no carregamento em função do tempo que é visto entre 5 minutos e 60 minutos, o segundo é o aumento do carregamento entre os pontos 120 minutos e 540 minutos, com taxa menor comparado ao observado entre 5 e 60 minutos, e o terceiro comportamento é a região de estabilização próxima a 720 minutos, ou seja, entrando em equilíbrio termodinâmico (FU, WANG, 2011; BULUT, AYDIN, 2006). Estes experimentos foram realizados para entender o tempo de contato de adsorção da 2-naftol no biocarvão de açaí ativado com CO₂ em soluções aquosas. A concentração inicial da solução de corante foi de 400 mg.L⁻¹.

Conclusão

Nesse trabalho, foi avaliada a eficiência do biocarvão ativado derivado do resíduo de processamento de açaí como material adsorvente do contaminante 2-naftol em soluções aquosas. Pode-se observar os dados experimentais dos efeitos iniciais, partindo do efeito da concentração inicial alcançado estabilização a partir do pico de 300 mg.L⁻¹, obtendo uma remoção de 84,28% do adsorbato. A partir dos dados do efeito do pH na adsorção do contaminante, foi possível observar que a capacidade adsorptiva permaneceu próxima na maioria dos intervalos de pH, alcançando um valor próximo de 21 mg.g⁻¹ em pH 5,0, removendo 52,66% da substância. Os dados do teste relacionado ao tempo de contato possibilitaram identificar três regiões com diferentes comportamentos no gráfico,

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

indicando um carregamento rápido do adsorvente que posteriormente aumenta com taxa inferior até atingir a estabilização próxima a 720 minutos, ou seja, entrando em equilíbrio termodinâmico. Outros estudos ainda podem ser desenvolvidos a fim de encontrar condições experimentais mais favoráveis a adsorção, porém, com testes iniciais, o biocarvão proveniente de resíduos do açaí já se mostrou um adsorvente valioso e promissor para remover 2-naftol de águas residuais.

Referências

AQUINO NETO, S. D. et al. Tratamento de resíduos de corante por eletrofloculação: um experimento para cursos de graduação em química. **Quím. Nova**, v. 34, n. 8, p. 1468-1471, 2011.

BULUT, Y.; AYDIN, H. A kinetics and thermodynamics study of methylene blue adsorption on wheat shells. **Desalination**, v. 194, n. 1-3, p. 259-267, 2006.

FARINAS, C. S. et al. **Aproveitamento do Caroço do Açaí como Substrato para a Produção de Enzimas por Fermentação em Estado Sólido**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. 15 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/658280/1/BPD302009.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2023.

FLORENCE RIOS SERRA (Tocantins). **Açaí – Inovações na cadeia do açaí: rastreabilidade**. Baixo Tocantins: Conab, 2020. 14 p. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-acai/item/download/35248_5198809397d2c737b588cc3b198e6216. Acesso em: 16 jun. 2022.

FU, F.; WANG, Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. **J. Environ. Manage.**, v. 92, n. 3, p. 407-418, 2011.

HAMEED, B. H.; AHMAD, A. A. Batch adsorption of methylene blue from aqueous solution by garlic peel, an agricultural waste biomass. **J. Hazard. Mater.**, v. 164, n. 2-3, p. 870-875, 2009.

MALL, I.D. et al. Removal of Orange-G and Methyl Violet dyes by adsorption onto bagasse fly ash—kinetic study and equilibrium isotherm analyses. **Dyes Pigm.**, v. 69, n. 3, p. 210-223, 2006.

NASCIMENTO, R. F. et al. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará (UFC), 2014. 256 p. Disponível em: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4340.1041>. Acesso em: 01 set. 2023.

ROCHA, O. R. S. et al. Avaliação do processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo BF-2R. **Quím. nova**, v. 35, p. 1369-1374, 2012.

SANTOS, S. C. R.; VILAR, V. J. P.; BOAVENTURA, R. A. R. Waste metal hydroxide sludge as adsorbent for a reactive dye. **J. Hazard. Mater.**, v. 153, n. 3, p. 999-1008, 2008.

XU, L. et al. Column adsorption of 2-naphthol from aqueous solution using carbon nanotube-based composite adsorbent. **J. Chem. Eng.**, v. 335, p. 450-457, 2018.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Apoio à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.