DESEMPENHO ADSORTIVO DE BIOCARVÕES DERIVADOS DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Ana Lara Araújo Santos [1]; Liz Ellen Cruz Freire [2]; Mikael Barreto de Jesus [3]; Adriel de Jesus Santos [4]; Louis Alberto Santos Bomfim Costa [5], Ariovaldo Antonio Tadeu Lucas [6] & Denise Conceição de Gois Santos Michelan [7]

RESUMO – A crescente contaminação hídrica tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis de tratamento, destacando-se o biocarvão proveniente de resíduos agroindustriais pelo potencial adsortivo e pela valorização de resíduos alinhada à economia circular. Assim, o presente trabalho teve como objetivo investigar a utilização de biocarvões obtidos da casca de batata (*Solanum tuberosum* L.) (BCB) e da casca de amendoim (*Arachis hypogea* L.) (BCA) na remoção do corante azul de metileno (AM). Os ensaios de adsorção foram conduzidos utilizando 0,125 g de adsorvente em 50 mL de solução de AM, sob diferentes concentrações iniciais do corante à temperatura ambiente. Após agitação, as amostras foram centrifugadas e a concentração residual do corante determinada por espectrofotometria UV–Vis. Desse modo, ambos os materiais apresentaram eficiência significativa na remoção de AM, com desempenho superior do BCB em relação ao BCA em 75% das condições avaliadas, evidenciando o potencial dos biocarvões no processo adsortivo e sua aplicabilidade como alternativa sustentável para o tratamento de água.

ABSTRACT – The increasing contamination of water has driven the development of sustainable treatment technologies, with biochar from agro-industrial waste standing out due to its adsorptive potential and its ability to add value to waste in line with the circular economy. Thus, this work aimed to investigate the use of biochars obtained from potato peel (*Solanum tuberosum* L.) and peanut shell (*Arachis hypogea* L.) in the removal of methylene blue (MB) dye. Adsorption tests were carried out using 0,125 g of adsorbent in 50 mL of MB solution, under different initial dye concentrations at room temperature. After completion, the samples were centrifuged and the residual dye concentration determined by UV–Vis spectrophotometry. Thus, both materials showed significant efficiency in AM removal, with BCB performing better than BCA in 75% of the planned conditions, highlighting the potential of biochars in the adsorptive process and their applicability as a sustainable alternative for water treatment.

Palavras-Chave – azul de metileno, tratamento de água, economia circular.

[1]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão-SE, Brasil. Fone: (79) 99930-1220. E-mail: analarah.santos@gmail.com
[2]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão-SE, Brasil. Fone: (79) 99879-6504. E-mail:lizellenf@gmail.com
[3]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão-SE, Brasil. Fone: (79) 99951-8691. E-mail:mikaelbarreto0505@academico.ufs.br
[4]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão-SE, Brasil. Fone: (79) 99925-5943. E-mail:engadriel.ufs@gmail.com
[5]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão-SE, Brasil. Fone: (79) 99684-0702. E-mail:louisalberto66@gmail.com
[6]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão-SE, Brasil. Fone: (79) 99155-1776. E-mail:aatlucas@academico.ufs.br
[7]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão-SE, Brasil. Fone: (79) 99130-4658. E-mail:denisegois@academico.ufs.br

1. INTRODUÇÃO

A crescente presença de contaminantes em águas superficiais e subterrâneas tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias eficientes e sustentáveis para o tratamento de água. Nesse contexto, processos de adsorção vêm sendo investigados no tratamento de água devido ao seu significativo desempenho, facilidade de operação e baixo custo de instalação (Rathi; Kumar, 2021), além de ser um processo que permite investigar a utilização de materiais adsorventes alternativos, como o biocarvão (Rathi; Kumar, 2021; Qiu *et al*., 2022; Jagadeesh; Sundaram, 2023).

O biocarvão, material carbonáceo produzido pela pirólise de biomassa, apresenta área superficial e porosidade desenvolvidas, além de características estruturais favoráveis ao processo de adsorção, o que potencializa a remoção de contaminantes em meio aquoso e amplia o uso como alternativa viável paralela aos adsorventes convencionais, especialmente em razão do menor custo associado à obtenção e aplicação (Qiu *et al*., 2022).

Nesse contexto, resíduos agroindustriais, como cascas de batata (Singh*et al*., 2022) e de amendoim (Mathabatha*et al*., 2023), têm se destacado como matérias-primas promissoras para a produção de biocarvão, em razão da disponibilidade e do potencial de valorização associado à economia circular. Adicionalmente, sob manejo adequado, a capacidade produtiva dessas culturas em diferentes regiões, incluindo áreas semiáridas (Alves *et al*., 2016; Azevedo *et al*., 2018), favorece a geração de biomassa residual passível de reaproveitamento. Nesse sentido, essa abordagem está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente ao ODS 12, relacionado ao consumo e à produção responsáveis (ONU, 2024).

Além disso, no contexto da contaminação hídrica, os corantes destacam-se entre os diversos contaminantes que comprometem a qualidade da água. Dentre esses contaminantes, se faz presente o azul de metileno, considerado um corante tóxico utilizado na indústria têxtil (Adeoye *et al*., 2025), sendo amplamente empregado como contaminante modelo em estudos de adsorção (Han *et al*., 2015; Elisário, 2018; Alves *et al*., 2023).

Diante disso, estudos que avaliam o desempenho absortivo do biocarvão contribuem para ampliar a aplicação em tecnologias sustentáveis de purificação de água. Assim, o presente trabalho investigou o uso de biocarvões provenientes da casca de batata (*Solanum tuberosum* L.) e da casca de amendoim (*Arachis hypogea* L.) como adsorventes alternativos na remoção do contaminante indicador azul de metileno em solução aquosa, buscando compreender o potencial dos materiais como alternativa sustentável para sistemas de tratamento de água.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais utilizados

Utilizou-se matérias primas de casca de batata e amendoim, que foram transformados em biocarvões de casca de batata (BCB) e casca de amendoim (BCA), empregados como adsorventes para remoção de azul de metileno (AM) em solução aquosa. Ambos os biocarvões foram obtidos por pirólise convencional, com taxa de aquecimento de 20 °C/min, processados por 25 minutos. O biocarvão de casca de batata foi produzido a 350 °C, enquanto o biocarvão de casca de amendoim foi obtido a 450 °C.

A comparação entre os biocarvões foi conduzida considerando diferentes biomassas e condições de pirólise, uma vez que a composição de cada precursor influencia o comportamento térmico e as características do material obtido (Gholizadeh *et al*., 2024). Portanto, cada biomassa apresenta condições específicas de conversão termoquímica que favorecem o desenvolvimento das propriedades superficiais e estruturais dos biocarvões.

Ademais, o corante AM foi empregado como adsorbato modelo devido às propriedades físico-químicas bem estabelecidas, à significativa solubilidade em água e à ampla aplicação em estudos de adsorção voltados à avaliação comparativa de materiais adsorventes (Bollinger *et al*., 2025).

2.2 Ensaio de adsorção

Os ensaios de adsorção foram realizados em duplicata, empregando 0,125 g de adsorvente em soluções de AM previamente preparadas nas concentrações de 5, 10, 100 e 500 $mg.L^{-1}$ (Figura 1a). As amostras foram submetidas à agitação (Figura 1b) a 150 rpm (Han *et al*., 2015; Qiu *et al*., 2020), por tempo de contato de 45 minutos (Alves *et al*., 2023). Após o período de contato, procedeu-se à separação sólido–líquido por centrifugação (Figura 1c) durante 10 minutos a 4000 rpm (Dias *et al*., 2024).

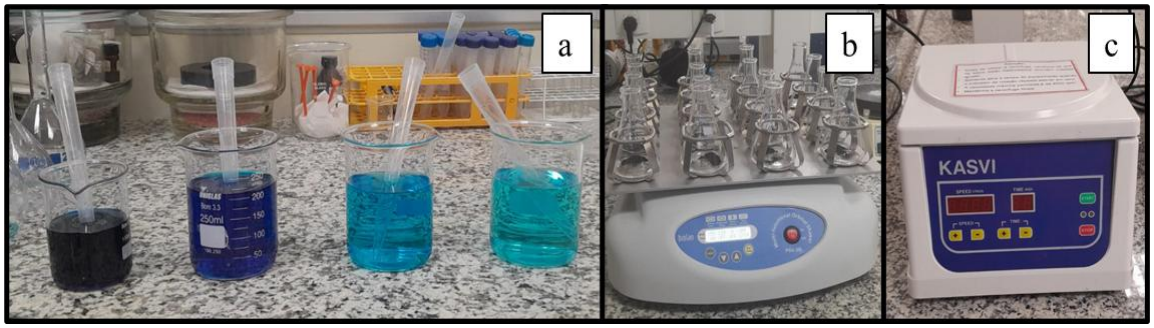


Figura 1 – Procedimentos para realização do ensaio de adsorção.

Fonte: Autores (2026).

Desse modo, a concentração residual do corante foi determinada por espectrofotometria ultravioleta visível (UV–Vis), com leitura no comprimento de onda de 665 nm (Alfredo *et al*., 2015; Silva, 2023), sendo os ensaios realizados em temperatura ambiente.

A curva de calibração do AM foi elaborada a partir de soluções-padrão nas concentrações de 1, 2, 5, 8 e 10 mg.L^{-1} (Elisiário, 2018). Além disso, preparou-se solução contendo apenas água destilada e biocarvão (solução controle), a fim de avaliar possíveis interferências da água utilizada.

Ademais, a quantidade de azul de metileno adsorvida (q), em mg.g^{-1}, foi calculada conforme a Equação 1, enquanto a eficiência de remoção (ER), em porcentagem, foi calculada pela Equação 2.

$$q = \frac{(C_0 - Ce).\ v}{m} \quad (1)$$

$$ER = \frac{(C_0 - Ce)}{C_0}\ x\ 100 \quad (2)$$

Em que:

C_0: a concentração inicial de azul de metileno (mg.L^{-1});

C_e: a concentração do corante na solução ao final do ensaio (mg.L^{-1});

v: corresponde ao volume da solução utilizada (mL);

m: a massa de biocarvão (g);

q: quantidade adsorvida ao final do experimento (mg.g^{-1});

ER: eficiência de remoção (%).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações iniciais (C_0) e finais (C_e) de AM e a quantidade adsorvida ao final do experimento (q) dos materiais estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados do ensaio adsorção.

Biocarvão	Co (mg.L^{-1})	Ce (mg.L^{-1})	q (mg.g^{-1})
BCB	5,00	2,15	2,32
	10,00	2,14	2,11
	100,00	3,95	3,89
	500,00	21,88	191,25
BCA	5,00	3,46	0,62
	10,00	4,91	2,03
	100,00	8,87	36,45
	500,00	15,29	193,88

Fonte: Autores (2026).

Sendo assim, em ambos os materiais se observou significativa quantidade adsorvida ao final do experimento (q), bem como aumento desse parâmetro em função do aumento das concentrações iniciais do adsorbato. O processo de adsorção ocorre em função das forças moleculares insaturadas e desequilibradas presentes nas superfícies sólidas, assim, quando o sólido entra em contato com o

fluido, estabelecem-se interações entre os campos de força na interface sólido–fluido (Garcia *et al*., 2021). Nesse contexto, o aumento da concentração de AM na solução pode proporcionar maior disponibilidade de moléculas do adsorbato, intensificando as interações entre o corante e os sítios ativos presentes na superfície dos biocarvões. Além disso, concentrações mais elevadas promovem aumento da força motriz do gradiente de concentração, favorecendo a difusão das moléculas de AM até a superfície do adsorvente e intensificando a transferência de massa no sistema, resultando em acentuadas capacidades de adsorção (Balde *et al*., 2024).

De modo geral, ambos os materiais apresentaram significativa eficiência de remoção de AM, sendo observado desempenho superior do BCB em relação ao BCA em 75% das condições avaliadas (Figura 2). Para o BCB, as eficiências de remoção oscilaram entre 57,05 e 95,63%, enquanto para o BCA os valores variaram entre 30,70 e 96,94% ao longo das concentrações iniciais avaliadas.

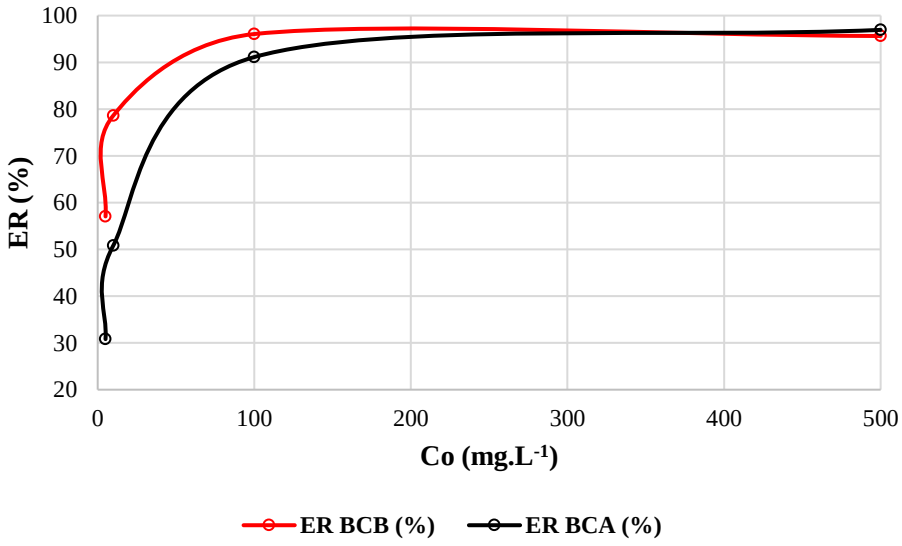


Figura 2 – Eficiências de remoção.

Fonte: Autores (2026).

Remoções similares foram constatadas na literatura, como observado por Hassaan *et al.* (2023), em estudo com biocarvão à base de serragem modificado com ozônio e trietilenotetramina, observaram eficiência máxima de remoção de 99,75% para solução de AM a 20 $mg.L^{-1}$, empregando dose de adsorvente de 2,0 $g \cdot L^{-1}$. De modo análogo, Rosa *et al.* (2019), ao investigarem biocarvão de bagaço de cana impregnado com zinco, verificaram eficiência de remoção de 99,8% para solução de AM a 100 $mg.L^{-1}$, utilizando 100 mg de adsorvente em 20 mL de solução e tempo de contato de 180 minutos.

Além disso, no sentido de diferentes eficiências de remoção entre os biocarvões avaliados, Chen *et al.* (2022) observaram que o aumento da temperatura de pirólise pode limitar a capacidade

de adsorção de AM, mesmo diante de discretas variações nas propriedades texturais, indicando que a remoção do corante não depende exclusivamente da área superficial. Segundo os autores, esse comportamento está associado à redução e modificação de grupos funcionais oxigenados em temperaturas mais elevadas, os quais desempenham papel considerável nas interações com o corante, uma vez que, conforme destacado por Dai *et al.* (2021), a presença de grupos funcionais oxigenados no biocarvão contribui para a remoção de poluentes da água, pois atuam como sítios ativos no processo de adsorção.

Além das possíveis modificações superficiais promovidas pelas distintas temperaturas de pirólise, as diferenças na composição lignocelulósica das biomassas podem ter influenciado os resultados, visto que a proporção de constituintes como lignina, celulose e hemicelulose influencia as características dos materiais, afetando consequentemente seu comportamento adsortivo (Wan *et al*., 2020).

Yang *et al.* (2021) observaram que biocarvões obtidos de lignina apresentaram menor abundância de grupos funcionais oxigenados, enquanto materiais provenientes de celulose e hemicelulose exibiram maior porosidade e funcionalização superficial. Nesse contexto, a casca de amendoim apresenta teor de lignina de 24,18% (Brito *et al*., 2023), ao passo que a casca de batata apresenta valor de 15,94% na literatura (Liang; McDonald, 2014). Assim, o maior teor de lignina na casca de amendoim pode ter favorecido a formação de estruturas mais aromáticas e condensadas durante a pirólise, com possível redução de grupos funcionais superficiais relevantes para a adsorção (Lu; Gu, 2022).

Contudo, independentemente das diferenças observadas entre os adsorventes, ambos demonstraram potencial para remoção do corante, evidenciando a eficiência dos biocarvões no processo adsortivo. Além disso, vale destacar que, em regiões semiáridas, como a Caatinga, culturas como o amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e a batata (*Solanum tuberosum* L.) apresentam potencial de cultivo. O amendoim é considerado uma alternativa agrícola com relativa tolerância ao déficit hídrico, podendo manter o desenvolvimento sob condições de estresse moderado, dependendo do genótipo cultivado (Alves *et al.*, 2016). A batata, por sua vez, também pode apresentar desempenho satisfatório em áreas semiáridas, especialmente em sistemas agroecológicos e com manejo adequado da irrigação e fertilidade do solo (Azevedo *et al*., 2018).

Nesse contexto, o potencial de cultivo dessas culturas em regiões semiáridas reforça a possibilidade de geração e aproveitamento de biomassa residual para produção de biocarvões, agregando valor aos resíduos e fortalecendo práticas alinhadas à economia circular e ao ODS 12. Assim, o aproveitamento da biomassa residual para produção de biocarvão reforça estratégias de

sustentabilidade e o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis para o tratamento de água (Olugbenga *et al*., 2024).

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que os biocarvões avaliados apresentaram potencial para remoção de azul de metileno em solução aquosa, com destaque para o BCB, que apresentou capacidade adsortiva mais expressiva com relação ao BCA. De maneira geral, o aumento da concentração inicial do corante favoreceu o processo de adsorção, indicando maior interação entre o adsorbato e os sítios ativos presentes na superfície dos materiais.

Ademais, além da eficiência observada, destaca-se o potencial ambiental dos biocarvões produzidos a partir de resíduos, uma vez que esses materiais representam alternativa sustentável para aplicação em processos de tratamento de água.

Para estudos futuros, visando avaliar as condições de produção e as diferenças intrínsecas na composição das biomassas, recomenda-se investigar diferentes dosagens de adsorvente e condições operacionais, bem como parâmetros adicionais que influenciam o processo adsortivo, como pH, temperatura e tempo de contato. Também se sugere ampliar a faixa de concentrações avaliadas no presente estudo, possibilitando a aplicação de modelos matemáticos. Adicionalmente, análises físico-químicas e estruturais complementares podem contribuir para uma melhor compreensão das características dos biocarvões e de sua influência no processo de adsorção.

AGRADECIMENTOS - Ao Laboratório de Corrosão e Nanotecnologia (LCNT) da Universidade Federal de Sergipe, pelo suporte técnico e infraestrutura disponibilizada para a realização deste estudo. À CAPES e COPES/UFS, pelo apoio financeiro por meio da concessão de bolsas de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ADEOYE, J. B.; LAU, S. Y.; TAN, Y. H.; TAN, Y. Y.; CHIONG, T.; MUBARAK, N. M.; ANBUCHEZHIYAN, G.; KHALID, M.; NG, J. T. W. (2025). *"A comprehensive review on adsorption technologies for methylene blue elimination: efficiency, mechanisms, and future perspectives"*. Discover Applied Sciences, v. 7, n. 11, p. 1285.

ALFREDO, A. P. C.; GONÇALVES, G. C.; LOBO, V. S.; MONTANHER, S. F. (2015). *"Adsorção de Azul de Metileno em Casca de Batata Utilizando Sistemas em Batelada e Coluna de Leito Fixo"*. Revista Virtual de Química, v. 7, n. 6, p. 1909-1920.

ALVES, G. O.; SOLDÁ, A. L.; PINHEIRO, F. M.; FONSECA, G. J. (2023). *Síntese de carvão ativado a partir de cascas de amendoim para a adsorção do corante azul de metileno*. Trabalho de conclusão de curso (Curso Técnico em Química) – ETEC Irmã Agostina, São Paulo.

ALVES, G. M. R.; PEREIRA, J. W. L.; LUZ, L. N.; LIMA, L. M.; SANTOS, R. C. (2016). "*Variabilidade genotípica de amendoim em resposta ao estresse hídrico baseada em descritores bioquímicos*". Revista Caatinga, Mossoró, v. 29, n. 3, p. 528-536.

AZEVEDO, W. S. L.; SILVA, E. D.; SILVA, D. F.; CORRÊA, É. B. (2018). "*Produção de batata (Solanum tuberosum) em sistemas familiares agroecológicos no Agreste da Borborema, Paraíba*", in Anais do VI CLAA, X CBA e V SEMDF, v. 13, n. 1.

BALDE, M.; DIEDHIOU, A.; NDOYE, I.; TIRERA, H.; GUEYE, R. S.; TINE, Y.; THIAM, K.; GUEYE, N.; SECK, M.; FALL, D.; WELE, A. (2024). *"Review of thermodynamic and physico-chemical parameters influencing methylene blue adsorption on activated charcoal of natural origin"*. International Journal of Chemistry Research, p. 1-5.

BOLLINGER, J. C.; LIMA, E. C.; MOUNI, L.; SALVESTRINI, S.; TRAN, H. N. (2025). *"Molecular properties of methylene blue, a common probe in sorption and degradation studies: a review"*. Environmental Chemistry Letters, v. 23, n. 5, p. 1403-1424.

BRITO, F. M. S.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. (2023). "*Análise química de cascas de amendoim (Arachis hypogea L.) e madeira de Pinus oocarpa para produção de painéis aglomerados*", in Estudos e tendências atuais em Ciências Ambientais e Agrarias. Org. por Andrade, J. K. B., Licuri, Campina Grande – PB, pp. 1 – 8.

CHEN, W.; ZHANG, Z.; KANG, H.; GUO, Y.; PAK, T.; LI, G. (2022). *"On the role of surface functional groups in enhancing methylene blue adsorption by low-temperature biochar derived from Platanus orientalis bark"*. Desalination and Water Treatment, v. 254, p. 302-312.

DAI, L.; LU, Q.; ZHOU, H.; SHEN, F.; LIU, Z.; ZHU, W.; HUANG, H. (2021). "*Tuning oxygenated functional groups on biochar for water pollution control: A critical review*". Journal of Hazardous Materials, v. 420, p. 126547.

DIAS, C. A.; SANTOS, A.; LACERDA, D. I. S.; TORRES, H. S. S.; FREITAS, J. A.; REIS, S. C.; REBELO, Q. H. F. (2024). *"Synthesis and application of SiO_2/NbO_x composites for environmental remediation by adsorption"*. Materials Research, São Carlos, v. 27, e20240342.

ELISIÁRIO, P. V. S. (2018*). Adsorção de azul de metileno por carvão ativado em processo contínuo e em batelada*. Monografia (Bacharel em Química Tecnológica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 39f.

GARCIA, R. V.; DE LIMA SILVA, M.; DE MORAIS OLIVEIRA, V. E.; MARTINS, V. C. C.; DE ARAÚJO, J. F.; PRATA, E. G.; CORREIA, L. M. (2021). "*Materials for methylene blue adsorption*". Research, Society and Development, v. 10, n. 9, p. e37410918114.

GHOLIZADEH, M.; MECA, S.; ZHANG, S.; CLARENS, F.; HU, X. (2024). *"Understanding the dependence of biochar properties on different types of biomass"*. Waste Management, v. 182, p. 142-163.

HAN, X.; CHU, L.; LIU, S.; CHEN, T.; DING, C.; YAN, J.; CUI, L.; QUAN, G. (2015). *"Removal of methylene blue from aqueous solution using porous biochar obtained by KOH activation of peanut shell biochar"*. BioResources, v. 10, n. 2, p. 2836-2849.

HASSAAN, M. A.; YILMAZ, M.; HELAL, M.; EL-NEMR, M. A.; RAGAB, S.; EL NEMR, A. (2023). "*Improved methylene blue adsorption from an aqueous medium by ozone-triethylenetetramine modification of sawdust-based biochar*". Scientific Reports, v. 13, n. 1, p. 12431.

JAGADEESH, N.; SUNDARAM, B. (2023). "*Adsorption of pollutants from wastewater by biochar: a review"*. Journal of Hazardous Materials Advances, v. 9, p. 100226.

LIANG, S.; MCDONALD, A. G. (2014). "*Chemical and thermal characterization of potato peel waste and its fermentation residue as potential resources for biofuel and bioproducts production*". Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 62, n. 33, p. 8421-8429.

LU, X.; GU, X. (2022). "*A review on lignin pyrolysis: pyrolytic behavior, mechanism, and relevant upgrading for improving process efficiency*". Biotechnology for Biofuels and Bioproducts, v. 15, n. 1, p. 106.

MATHABATHA, T. I. K.; MATHERI, A. N.; BELAID, M. (2023). *"Peanut shell-derived biochar as a low-cost adsorbent to extract cadmium, chromium, lead, copper, and zinc (heavy metals) from wastewater: circular economy approach"*. Circular Economy and Sustainability, v. 3, n. 2, p. 1045-1064.

OLUGBENGA, O. S.; ADELEYE, P. G.; OLADIPUPO, S. B.; ADELEYE, A. T.; JOHN, K. I. (2024). "*Biomass-derived biochar in wastewater treatment – a circular economy approach*". Waste Management Bulletin, v. 1, n. 4, p. 1-14.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. (2024). *The Sustainable Development Goals Report 2024*. Disponível em: https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/. Acesso em: 02 maio 2026.

QIU, B.; SHAO, Q.; SHI, J.; YANG, C.; CHU, H. (2022). *"Application of biochar for the adsorption of organic pollutants from wastewater: Modification strategies, mechanisms and challenges"*. Separation and Purification Technology, v. 300, p. 121925.

QIU, Y.; XU, X.; XU, Z.; LIANG, J.; YU, Y.; CAO, X. (2020). *"Contribution of different iron species in the iron-biochar composites to sorption and degradation of two dyes with varying properties"*. Chemical Engineering Journal, v. 389, p. 124471.

RATHI, B. S.; KUMAR, P. S. (2021). *"Application of adsorption process for effective removal of emerging contaminants from water and wastewater"*. Environmental Pollution, v. 280, p. 116995.

ROSA, I. A.; RODRIGUES, M. C. M.; PAULO, S. F. (2019). "*Remoção de azul de metileno em biocarvões de casca de arroz e de bagaço de cana-de-açúcar*". Sustentare, v. 3, n. 1, p. 64-74.

SILVA, F. R. (2023). *Produção, caracterização e avaliação em meio aquoso de biocarvão de resíduos lignocelulósicos*. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 137f.

SINGH, M.; RANO, S.; ROY, S.; MUKHERJEE, P.; DALUI, S.; GUPTA, G. K.; KUMAR, S.; MONDAL, M. K. (2022). *"Characterization of organophosphate pesticide sorption of potato peel biochar as low cost adsorbent for chlorpyrifos removal"*. Chemosphere, v. 297, p. 134112.

WAN, J.; LIU, L.; AYUB, K. S.; ZHANG, W.; SHEN, G.; HU, S.; QIAN, X. (2020). "*Characterization and adsorption performance of biochars derived from three key biomass constituents*". Fuel, v. 269, p. 117142.

YANG, Q. L.; QIN, Z.; LIU, H. M.; CHENG, X. C.; MA, Y. X.; WANG, X. D. (2021). "*Performance of sesame straw cellulose, hemicellulose, and lignin biochars as adsorbents in removing benzo (a) pyrene from edible oil*". Food Science and Technology, v. 42, p. e49021.