

APLICAÇÃO DE BIOCHAR DE CASCA DE AMENDOIM NA REMOÇÃO DE DIPIRONA EM MEIO AQUOSO E NA CAPTURA DE CO₂

J. V. S. DANTAS¹, P. V.C. SANTOS¹, L. BATISTELLA¹, J. T. TELEKEN¹, S. M. AMORIM¹

¹Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, Brasil
(156joaovictor@gmail.com)

Este trabalho avaliou a aplicação de biochars produzidos a partir da casca de amendoim na remoção de dipirona em meio aquoso e na captura de CO₂. Os adsorventes foram obtidos por pirólise a 500, 600 e 700 °C. A amostra produzida a 700 °C apresentou o melhor desempenho em ambos os processos. Os resultados demonstram o potencial da casca de amendoim como matéria-prima para a produção de biochars adsorventes.

Palavras-chave: biomassa; bioadsorvente; fármaco; dióxido de carbono

INTRODUÇÃO

Os resíduos agroindustriais são materiais provenientes da produção agrícola global que geralmente são descartados devido ao seu baixo valor agregado. A utilização dessas biomassas para outros fins pode representar uma alternativa de matéria-prima mais barata e menos poluente (Vaz Junior, 2020). Uma das alternativas para a utilização desses resíduos é a sua conversão em biochars, que podem atuar como adsorventes na remoção de fármacos presentes em corpos hídricos. Outra possibilidade de aplicação desses bioadsorventes é na mitigação das mudanças climáticas por meio da captura de dióxido de carbono (CO₂).

O biochar é um material sólido obtido a partir da pirólise de biomassa em atmosfera com ausência ou quantidade limitada de oxigênio. Nesse processo, ocorre a decomposição térmica da matéria orgânica, resultando na formação de um material rico em carbono. Também conhecido como biocarvão, esse material pode ser produzido a partir de diversas biomassas não contaminadas, como a casca de amendoim, utilizada como matéria-prima neste estudo (De Sousa; De Paula, 2025).

A ocorrência de fármacos em efluentes e águas superficiais tem se tornado uma preocupação crescente para a comunidade científica em virtude dos riscos ambientais e à saúde humana. Esses compostos são produzidos para que, em baixas concentrações, gerem efeitos terapêuticos em humanos e animais. Entretanto, esses medicamentos não são totalmente absorvidos pelo organismo, o que faz com que parte deles seja excretada e alcance os

corpos hídricos. Diante desse desafio, alternativas para o tratamento desses fármacos vêm sendo estudadas, como, por exemplo, o processo de adsorção (Fonsêca, 2020).

Um dos fármacos de maior interesse é a dipirona monoidratada, ou metamizol, um anti-inflamatório não esteroide de grande potencial analgésico e antipirético. Esse composto é enquadrado na classe dos "não biodegradáveis", apresentando apenas 50% de biodegradação em efluentes. A adsorção é um processo de transferência de massa no qual moléculas presentes em uma fase líquida ou gasosa (adsorbatos) são retidas na superfície de materiais sólidos (adsorventes). Esse fenômeno permite a remoção de contaminantes e a purificação de misturas (Aidú et al., 2024).

Além da contaminação de efluentes por fármacos, outro estudo de interesse da comunidade científica é o acúmulo de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera devido às queimadas e combustão de combustíveis fósseis. Esse é um dos gases de efeito estufa que contribui para o aumento da temperatura, intensificando os efeitos do aquecimento global e das mudanças climáticas (Xu et al., 2024). Adsorventes sólidos, como materiais carbonáceos também são amplamente utilizados no processo de captura de CO₂, pela sua fácil modificação, baixo custo e boa estabilidade (Zhang et al., 2023).

Nesse contexto, o presente trabalho propõe a utilização da casca de amendoim como matéria-prima para a produção de biochars por pirólise em diferentes temperaturas. Os materiais obtidos foram caracterizados e avaliados quanto ao seu potencial na

remoção de dipirona e na captura de dióxido de carbono. Dessa forma, busca-se agregar valor a esse resíduo agroindustrial, contribuindo para o desenvolvimento de adsorventes de baixo custo para aplicações ambientais.

MATERIAL E MÉTODOS

Seleção e preparação da biomassa

As vagens de amendoim foram adquiridas na Feira da Folha 28, localizada no município de Marabá. Após a separação das sementes, o pericarpo foi submetido à secagem em estufa a 105 °C por 10 h. Após a secagem, as amostras foram trituradas em moinho de facas e posteriormente peneiradas em peneira de 65 mesh, visando à padronização do tamanho das partículas.

Síntese dos adsorventes

Após a etapa de preparação da biomassa, os adsorventes foram obtidos por pirólise do material em diferentes temperaturas (500, 600 e 700 °C), utilizando atmosfera inerte de nitrogênio (N₂). O Quadro 1 apresenta as nomenclaturas das amostras.

Quadro 1. Bioadsorventes obtidos por meio da pirólise em atmosfera inerte de nitrogênio.

T (°C) de pirólise	Amostra
500	CAM500
600	CAM600
700	CAM700

Caracterização

A estabilidade térmica da biomassa foi determinada por meio de análise termogravimétrica (TGA) utilizando um analisador DTG-60 Shimadzu. Para condução da análise utilizou-se atmosfera inerte (N₂, 100 mL min⁻¹) com taxa de 10 °C min⁻¹.

A análise de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) foi realizada para determinação dos grupos funcionais superficiais das amostras de pericarpo de amendoim *in natura* (CAM) e dos biochars (CAM500, CAM600 e CAM700). Os espectros foram obtidos na faixa espectral de 4000 a 650 cm⁻¹ em um espectrômetro Cary 630 (Agilent) com módulo ATR.

Preparação da solução de dipirona

Foi preparada uma solução de dipirona com concentração de 20 mg L⁻¹ a partir de uma solução comercial de dipirona em gotas (500 mg mL⁻¹, Medley®).

Ensaio de adsorção da dipirona

Os ensaios de adsorção foram realizados utilizando os biochars de pericarpo de amendoim. Para cada experimento, 0,12 g de adsorvente (CAM500, CAM600 ou CAM700) foram adicionados a 240 mL

da solução aquosa de dipirona (20 mg L⁻¹). As misturas foram mantidas sob agitação constante em agitador magnético durante o período experimental. Aliquotas foram coletadas em intervalos de tempo pré-determinados para acompanhamento da cinética de adsorção.

As alíquotas foram filtradas usando membrana PVDF (0,22 µm) e analisadas em espectrofotômetro UV-Vis (IL-226-NM-BI Even). As medidas de absorbância foram realizadas em comprimento de onda de 254 nm. Todos os ensaios foram realizados em duplicata.

Ensaio cinéticos de captura de CO₂

Os ensaios cinéticos de adsorção de CO₂ foram realizados em um analisador termogravimétrico (TGA) utilizando os biochars produzidos a partir da casca de amendoim. Inicialmente, as amostras foram submetidas a um tratamento térmico a 150 °C durante 60 min sob atmosfera de nitrogênio (N₂), com o objetivo de estabilizar a massa e remover espécies previamente adsorvidas na superfície do material. Os testes cinéticos de captura ocorreram de forma isotérmica, em temperaturas de (50, 100 e 150 °C), e na presença dióxido de carbono puro. A vazão de gás utilizada nos experimentos foi de 50 mL min⁻¹.

A quantidade de CO₂ adsorvida por unidade de massa do adsorvente (q_t, mg g⁻¹) em função do tempo foi determinada para cada ensaio por meio da Equação (1).

$$q_t = \frac{m_t - m_0}{m_0} \quad (1)$$

Sendo m₀ a massa de adsorvente inicial e m_t a massa do sistema no tempo t.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da biomassa

A análise termogravimétrica da biomassa é uma etapa importante para a definição das temperaturas de pirólise mais adequadas, uma vez que permite identificar as faixas térmicas nas quais ocorrem as principais transformações da biomassa (Torres-García et al., 2020). Portanto, para caracterização da biomassa (pericarpo de amendoim) e determinação das temperaturas de pirólise conduziu-a análise termogravimétrica (Figura 1).

Observam-se três regiões principais de perda de massa: remoção de umidade (35–150 °C), degradação dos componentes lignocelulósicos (150–380 °C) e decomposição da lignina (380–650 °C). Ao final da análise, a 650 °C, aproximadamente 23,5% da massa inicial permaneceu no material (Figura 1).

Os resultados obtidos estão de acordo com a literatura para o pericarpo de amendoim. Varma et al. (2022) e Torres-García et al. (2020) observaram que a degradação térmica ocorre inicialmente pela

remoção da umidade presente na biomassa. Em seguida, ocorre a etapa conhecida como pirólise reativa com a despolimerização e degradação dos principais componentes lignocelulósicos (hemicelulose, celulose, e degradação parcial da lignina) (Torres-García et al., 2020). Em temperaturas mais elevadas, a degradação gradual da lignina-alcatrão e resíduos carbonáceos caracteriza a pirólise secundária ou passiva (Torres-García et al., 2020).

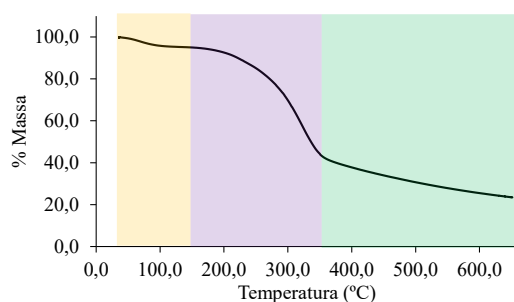


Figura 1. Curva termogravimétrica do pericarpo de amendoim *in natura* obtida sob atmosfera de N₂ (100 mL min⁻¹) e taxa de 10 °C min⁻¹.

Com base nos dados termogravimétricos, foram selecionadas temperaturas de pirólise entre 500 e 700 °C, uma vez que nessa faixa já ocorreram os principais eventos de decomposição da hemicelulose, celulose e grande parte da lignina.

Os espectros de FTIR da biomassa e dos biochars são apresentados na Figura 2.

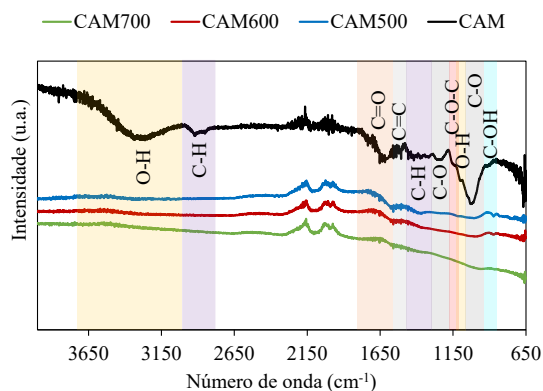


Figura 2. Análise de FTIR-ATR do pericarpo de amendoim *in natura* (CAM) e dos biochars (CAM500, CAM600 e CAM700).

No espectro da biomassa *in natura*, observam-se bandas típicas dos materiais lignocelulósicos (celulose-Cel; hemicelulose-Hem e lignina-Lig) presentes em sua composição (Figura 2). Assim, a banda larga na região de 3000–3650 cm⁻¹ pode ser atribuída ao estiramento de grupos hidroxila (O–H) (Tavares et al., 2020; Singh et al., 2020). As absorções em 2920 e 2857 cm⁻¹ podem ser associadas às vibrações de estiramento simétrico de

grupos CH₂ e CH₃, respectivamente (Santos et al., 2022).

Além disso, bandas características em 1734 cm⁻¹ (grupos carbonila C=O na Hem); 1622 cm⁻¹ (estiramento C=O na Lig), 1511 cm⁻¹ (vibração de estiramento C=C na Lig), 1420 cm⁻¹ (deformação C–H no anel aromático na Lig), 1370 cm⁻¹ (deformações de C–H na cel e hemi), 1327 cm⁻¹ (vibrações de CH₂ na Cel), 1250 cm⁻¹ (estiramento de C–O na Hem), 1150 cm⁻¹ (alongamento de C–O–C na cel e hemi), 1058 cm⁻¹ (alongamento C–O em holocelulose), 1098 cm⁻¹ (vibração de O–H em Cel e Hem), 1023 cm⁻¹ (estiramento C–O em Cel, Hem e Lig) e 909 cm⁻¹ (vibrações de estiramento C–OH na Cel) também foram identificadas (Brotto et al., 2022; Toscano et al., 2022; Moreira et al., 2020).

O aumento da temperatura de carbonização reduziu a intensidade das bandas de absorção, evidenciando a degradação dos componentes lignocelulósicos e a remoção de grupos funcionais.

Remoção de dipirona em meio aquoso

A Figura 3 apresenta os dados cinéticos de adsorção de dipirona usando os biochars CAM500, CAM600 e CAM700.

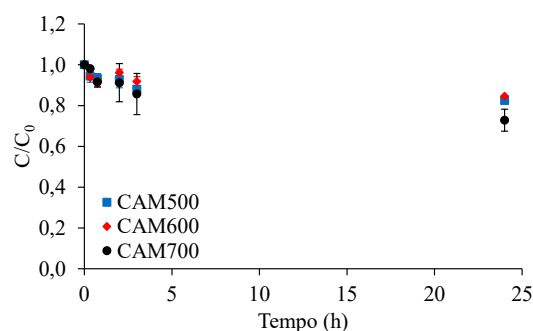


Figura 3. Cinética de adsorção de dipirona utilizando os biochars sintetizados (CAM500, CAM600 e CAM700). Condições experimentais: [adsorvente]=0,5 g L⁻¹; [dipirona]=20 mg L⁻¹; Temperatura=30 °C.

Observa-se uma redução da concentração de dipirona ao longo do tempo para todos os adsorventes avaliados. Durante as três primeiras horas de ensaio, os materiais apresentaram desempenhos semelhantes, com remoções de aproximadamente 8%, 12% e 14% para CAM600, CAM500 e CAM700, respectivamente. Entretanto, à medida que o tempo de contato aumentou, diferenças mais significativas passaram a ser observadas entre os adsorventes.

Após 24 horas de ensaio, o biochar produzido a 700 °C (CAM700) apresentou a maior eficiência de remoção, alcançando 27%, enquanto as amostras CAM500 e CAM600 removeram 17% e 15% da

dipirona, respectivamente. Esse resultado sugere que o aumento da temperatura de pirólise favoreceu o desenvolvimento das propriedades adsorventes do material. Temperaturas de pirólise mais elevadas tendem a promover o aumento da área superficial e da porosidade dos biochars, ampliando a disponibilidade de sítios ativos para a adsorção de contaminantes (Ahmad et al., 2014).

Os resultados obtidos são consistentes com os reportados por Guimarães et al. (2023), que observaram remoções de dipirona variando entre 0 e 16% para diferentes biochars em condições próximas à neutralidade. Nesse contexto, os biochars produzidos a partir do pericarpo de amendoim apresentaram desempenho comparável aos valores encontrados na literatura, especialmente a amostra CAM700. Esse comportamento reforça a influência da biomassa precursora e das condições de pirólise sobre as propriedades adsorventes dos biochars, evidenciando que o aumento da temperatura de síntese favoreceu a remoção da dipirona.

Cinética de captura de CO₂

A Figura 4 apresenta as curvas cinéticas de adsorção de CO₂ obtidas a 100 °C para os biochars sintetizados nas diferentes temperaturas de pirólise (CAM500, CAM600 e CAM700).

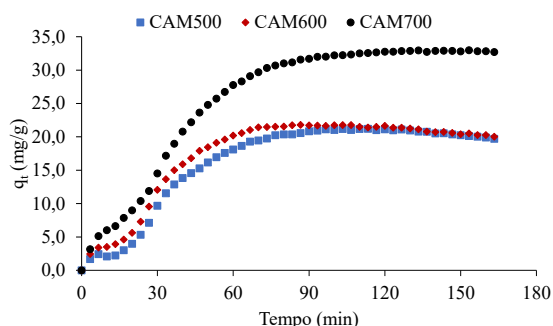


Figura 4. Cinética de adsorção de CO₂ isotérmica (100 °C) utilizando os biochars de pericarpo de amendoim (CAM500, CAM600 e CAM700).

Ao analisar a Figura 4, verifica-se que a amostra pirolisada a 700 °C (CAM700) apresentou a maior capacidade de captura de CO₂, atingindo aproximadamente 32,9 mg g⁻¹. Em seguida, as amostras CAM600 e CAM500 apresentaram resultados próximos, com 21,8 e 21,1 mg g⁻¹, respectivamente. Esse resultado está em concordância com os obtidos para a adsorção de dipirona, nos quais o material CAM700 também apresentou o melhor desempenho entre os biochars avaliados e os outros dois biochars apresentam desempenho parecido. A semelhança observada entre os dois sistemas sugere que as características desenvolvidas durante a síntese do material

exerceram influência positiva tanto na remoção do fármaco quanto na captura de CO₂.

A temperatura de pirólise na produção do biochar influenciou significativamente sua capacidade adsorviva de CO₂. E, como mencionado anteriormente, isso pode ser atribuído ao aumento da área superficial e porosidade nas amostras obtidas em temperaturas mais elevadas (Lewicka, 2017).

A capacidade máxima de captura de CO₂ obtida para o biochar CAM700 (32,9 mg g⁻¹) encontra-se na mesma ordem de grandeza dos valores reportados na literatura para biochars produzidos a partir de outras biomassas. Mamaghani et al. (2023) reportaram uma capacidade de adsorção à 100 °C de aproximadamente 57 mg g⁻¹ para biochar derivado de madeira macia.

Na Figura 5, são apresentadas as curvas cinéticas de adsorção de CO₂ para amostra CAM700 em diferentes temperaturas.

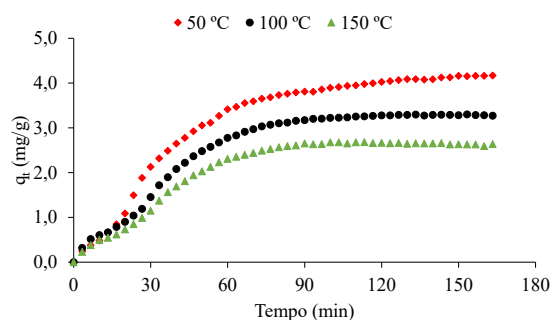


Figura 5. Cinética de captura de CO₂ pela amostra CAM700 sob diferentes temperaturas de adsorção (50-150 °C).

Observa-se que o aumento da temperatura de adsorção reduz a capacidade de captura de CO₂ pelo biochar (CAM700). A temperatura de 50 °C apresentou o melhor desempenho, com capacidade de 41,7 mg g⁻¹, valor superior aos obtidos a 100 e 150 °C, que apresentaram capacidades de 32,9 e 26,8 mg g⁻¹, respectivamente. Esse comportamento evidencia que temperaturas mais baixas favorecem a captura de CO₂, devido ao caráter físico e exotérmico do processo de adsorção. Assim, o aumento da temperatura reduz a retenção das moléculas de CO₂ na superfície e nos poros do adsorvente, resultando em menores capacidades de adsorção (Xu et al., 2024).

Resultados semelhantes foram observados por Ramaswamy et al. (2026) para biochar produzido a partir de pericarpo de amendoim, cuja capacidade de captura de CO₂ diminuiu de 29,9 para 22,9 mg g⁻¹ com o aumento da temperatura de adsorção de 25 para 50 °C. Em relação à magnitude dos valores obtidos, o desempenho do CAM700 mostrou-se

compatível com o reportado para biochars produzidos a partir de outras biomassas (Tabela 1).

Tabela 1. Capacidade de adsorção de CO₂ de biochars obtidos a partir de diferentes biomassas.

Biomassa	T _{pirólise} (°C)	T _{ads} (°C)	q (mg/g)	Ref.
Casca de amendoim	800	25	29,9	Ramaswamy et al. (2026)
Casca de amendoim	800	50	22,9	Ramaswamy et al. (2026)
Cachos de frutos de dendezeiro	600	50	35,0	Parshetti et al. (2015)
Bagaço de cana	600	75	44,0	Creamer et al. (2014)
Madeira nogueira	600	75	41,0	Creamer et al. (2014)
Palha de trigo	500	50	22,0	Xu et al. (2016)
Madeira macia	800	100	57,0	Mamaghani et al. (2023)
CAM500	500	100	21,1	Este trabalho
CAM600	600	100	21,8	Este trabalho
CAM700	700	100	32,9	Este trabalho
CAM700	700	50	41,7	Este trabalho
CAM700	700	150	26,8	Este trabalho

As comparações realizadas (Tabela 1) indicam que o biochar produzido neste estudo apresenta capacidade de captura de CO₂ na mesma ordem de grandeza de outros materiais lignocelulósicos reportados na literatura. Entretanto, é importante destacar que diferenças nas condições de síntese, como o tipo de pirólise (rápida ou lenta), tempo de residência, taxa de aquecimento e atmosfera reacional, além de parâmetros intrínsecos da biomassa precursora, influenciam diretamente as propriedades texturais e superficiais dos biochars, refletindo em variações significativas na capacidade de adsorção (Feizi-Afshar et al., 2025).

De modo geral, os resultados apontam para a versatilidade dos biochars como materiais adsorventes sustentáveis, com potencial de utilização em processos ambientais distintos, desde a captura de gases de efeito estufa até a remoção de poluentes orgânicos em meio aquoso.

CONCLUSÃO

O pericarpo de amendoim apresenta potencial como precursor para a produção de biochars com aplicação em processos de adsorção. A elevação da temperatura de pirólise favoreceu o desempenho dos materiais, sendo a amostra produzida a 700 °C a que apresentou os melhores resultados tanto na remoção de dipirona quanto na captura de CO₂. Para a

remoção de dipirona, foi obtida uma eficiência de remoção de 27% utilizando o biochar produzido na temperatura mais elevada (CAM700). Nos ensaios de captura de CO₂, a mesma amostra apresentou capacidade de adsorção de 41,7; 32,9 e 26,8 mg g⁻¹ nas temperaturas de 50, 100 e 150 °C, respectivamente. Além disso, verificou-se que temperaturas mais baixas de adsorção, especialmente 50 °C, favoreceram a captura de CO₂. Dessa forma, os biochars obtidos a partir da pericarpo de amendoim mostram-se materiais promissores para aplicações ambientais relacionadas ao tratamento de efluentes e à mitigação de emissões de gases de efeito estufa.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

REFERÊNCIAS

- AHMAD, M.; RAJAPAKSHA, A. U.; LIM, J. E.; ZHANG, M.; BOLAN, N.; MOHAN, D.; VITHANAGE, M.; LEE, S. S.; OK, Y. S.. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere*, v. 99, p. 19-33, 2014.
- AIDÚ, F.; MORGAN, L. R.; CAVALCANTE, M. P.; SANTANA, N. C.. **Adsorção de dipirona monoidratada e diclofenaco potássico a partir da casca de amendoim**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Química) – ETEC Júlio de Mesquita, Santo André, 2024.
- BROTTO, J. O.; SALLA, J. S.; DA SILVA, J. C. G.; RODRÍGUEZ-CASTELLÓN, E.; JOSÉ, H. J.; AMORIM, S. M.; MOREIRA, R. F. P. M.. Investigation of the thermal behavior of Pinus wood pellets during torrefaction for application in metallurgical processes. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 19, p. 3749–3759, 2022.
- CREAMER, A. E.; GAO, B.; ZHANG, M. Carbon dioxide capture using biochar produced from ahsugarcane bagasse and hickory wood. *Chemical Engineering Journal*, v. 249, p. 174-179, 2014.
- DE SOUSA, D. F.; DE PAULA, N. F.. Produção e avaliação de biochar de casca de amendoim. *Simpósio de Tecnologia Fatec Jaboticabal*, v. 5, n. 1, p. e5104-e5104, 2025. Acesso em: 07 jun. 2026.
- FEIZI-AFSHAR, B.; VAFAJOO, L.; FARZI, A.. A decade of advances in agricultural waste-derived biochar for direct air CO₂ capture: Activation, modification, and performance trends. *Results in Chemistry*, p. 102921, 2025.
- FONSÊCA, M. C.. **Avaliação da adsorção de fármacos presentes em amostras aquosas usando biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar**. 2020. 104 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2020.
- MAMAGHANI, Z. G.; HAWBOLDT, K.; MACQUARRIE, S.; KATZ, M. Impact evaluation of coexisting gas CO on CO₂ adsorption on biochar derived



from softwood shavings. *Separation and Purification Technology*, v. 338, 126529, 2024.

GUIMARÃES, T. G. S.; BARROS, L. A.; SILVA, R. S.; GONZALEZ, M. H.; CARRILHO, E. N. V. M.; LABUTO, G.. Synthesis and characterization of biochars modified with natural deep eutectic solvent (NADES) for dipyrone removal from aqueous medium. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, v. 35, p. 101205, 2023.

LEWICKA, K.. Activated carbons prepared from hazelnut shells, walnut shells and peanut shells for high CO₂ adsorption. *Polish Journal of Chemical Technology*, v. 19, n. 2, 2017.

MOREIRA, R.; MENDES, C. V. T.; BANACO, M. B. F.; CARVALHO, M. G. V. S.; PORTUGAL, A.. New insights in the fractionation of Pinus pinaster wood: sequential autohydrolysis, soda ethanol organosolv and acidic precipitation, *Industrial Crops and Products*, v. 152, p. 112499, 2020.

PARSHETTI, G. K.; CHOWDHURY, S.; BALASUBRAMANIAN, R.. Biomass derived low-cost microporous adsorbents for efficient CO₂ capture. *Fuel*, v. 148, p. 246-254, 2015.

RAMASWAMY, Peerala; JAGADISH, Tota; KUMAR, Challa Pradeep. Valorization of Peanut Shell Biomass Into Sustainable Microporous Activated Carbons by H₃PO₄ Activation for Enhanced CO₂ Capture. *ChemistrySelect*, v. 11, n. 9, p. e07081, 2026.

SANTOS, L. O.; OLIVEIRA, D. L.; NASCIMENTO, E. D.; ALENCAR, W. S.; SIQUEIRA, J. L. P.; VIEIRA, D. A.; DE SOUZA, A. D. V.; CARVALHO, F. A. O.. Low-cost activated carbon from the husk of Pará nuts for dye removal from aqueous solution: kinetic and thermodynamic mechanism study. *Scientia Plena*, v. 18, n. 9, 2022.

SINGH, R. K.; SAKAR, A.; CHAKRABORTY, J. P.. Effect of torrefaction on the physicochemical properties of eucalyptus derived biofuels: estimation of kinetic

parameters and optimizing torrefaction using response surface methodology (RSM), *Energy*, 198, p. 117369, 2020.

TAVARES, F. F. DA C.; ALMEIDA, M. D. C. DE; SILVA, J. A. P. DA; ARAÚJO, L. L.; CARDOZO, N. S. M.; SANTANA, R. M. C.. Thermal treatment of açai (*Euterpe oleracea*) fiber for composite reinforcement. *Polímeros*, v. 30, n. 1, 2020.

TORRES-GARCÍA, E.; RAMÍREZ-VERDUZCO, L. F.; ABURTO, J. Pyrolytic degradation of peanut shell: activation energy dependence on the conversion. *Waste Management*, v. 106, p. 203-212, 2020.

TOSCANO, G.; MACERATESI, V.; STIPA, P.; LAUDADIO, E.; SABBATINI, S.. FTIR spectroscopy for determination of the raw materials used in wood pellet production, *Fuel*, p. 123017, 2022.

VARMA, A. K.; SINGH, S.; RATHORE, A. K.; THAKUR, L. S.; SHANKAR, R.; MONDAL, P.. Investigation of kinetic and thermodynamic parameters for pyrolysis of peanut shell using thermogravimetric analysis. *Biomass conversion and biorefinery*, v. 12, n. 11, p. 4877-4888, 2022.

VAZ JÚNIOR, Sílvio. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais Uma abordagem sustentável**. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2020. 29 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126255/1/S-VAZ-Aproveitamento-de-resi769duos-agroindustriais.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2026.

XU, Y.; LIU, Y.; ZHAN, W.; ZHANG, D.; LIU, Y.; XU, Y.; WU, Z.. Enhancing CO₂ capture with K₂CO₃-activated carbon derived from peanut shell. *Biomass and Bioenergy*, v. 183, p. 107148, 2024.

ZHANG, C.; JI, Y.; LI, C.; ZHANG, Y.; SUN, S.; XU, Y.; JIANG, L.; WU, C.. The application of biochar for CO₂ capture: influence of biochar preparation and CO₂ capture reactors. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 62, n. 42, p. 17168-17181, 2023.