

BIOCARVÃO ATIVADO: FONTES DE OBTENÇÃO, CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES

Data de aceite: 01/11/2023

Edmilson Araújo de Oliveira Júnior

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais (PPGCM), Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina - PI

Ana Karen do Nascimento

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí

Giovanna Carvalho Sousa Silva

Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas (PPGCF), Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina - PI

Francisco Mayron de Sousa e Silva

Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas (PPGCF), Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina - PI

Rusbene Bruno Fonseca de Carvalho

Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas (PPGCF), Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina - PI

Livio Cesar Cunha Nunes

Docente curso de graduação em Farmácia e do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais (PPGCM) da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina - PI

RESUMO: O carvão ativado é uma forma porosa de carbono derivado da matéria lignocelulósica, que é tratada para aumentar sua capacidade de adsorver substâncias químicas. A adsorção é sua principal característica e por isso são amplamente utilizados em muitas aplicações, como: tratamento de água, purificação de ar, filtragem de produtos químicos, remoção de toxinas e até como antídoto em casos de envenenamento. A capacidade de adsorção do carvão ativado é devida à sua grande área superficial e à presença de pequenos poros em sua estrutura, que permitem a retenção de moléculas invasoras. Apresenta um grande potencial na remoção de contaminantes: como moléculas orgânicas, pesticidas, produtos químicos industriais, metais pesados e até mesmo alguns medicamentos. Apresenta alta eficiência para uso em tratamento de água potável, assim como em diversos processos industriais. Além disso, o carvão ativado é usado como remédio de em situações de envenenamento, pois ajuda na absorção de toxinas no trato digestivo. Nesse contexto, objetivo deste capítulo é explorar a obtenção, as propriedades físico-químicas e as aplicações do biocarvão, com ênfase na sua capacidade de adsorção de

uma ampla gama de compostos orgânicos, inorgânicos, fármacos e poluentes atmosféricos. O estudo busca trazer informações sobre a eficácia desse material como uma solução sustentável para a remoção de poluentes e a purificação de sistemas aquosos, contribuindo para a pesquisa e desenvolvimento de soluções ambientais eficazes.

PALAVRAS-CHAVE: Carvão ativado. Adsorção. Porosidade. Remoção de poluentes.

ACTIVATED BIOCHAR: SOURCES OF OBTAINING, CHARACTERISTICS AND APPLICATIONS

ABSTRACT: Activated carbon is a porous form of carbon derived from the lignocellulose material, which is treated to increase its ability to adsorb chemicals. Adsorption is its main characteristic and so are widely used in many applications, such as: water treatment, air purification, filtration of chemicals, removal of toxins and even as an antidote in cases of poisoning. The adsorption capacity of activated carbon is due to its large surface area and the presence of small pores in its structure, which allow the retention of invasive molecules. It has great potential in removing contaminants such as organic molecules, pesticides, industrial chemicals, heavy metals and even some medicines. It has high efficiency for use in drinking water treatment, as well as in various industrial processes. In addition, activated charcoal is used as a remedy for in poisoning situations, as it helps in the absorption of toxins in the digestive tract. In this context, the aim of this chapter is to explore the production, physicochemical properties, and applications of biochar, with an emphasis on its capacity to adsorb a wide range of organic compounds, inorganic substances, pharmaceuticals, and atmospheric pollutants. The study seeks to provide insights into the effectiveness of this material as a sustainable solution for pollutant removal and the purification of aqueous systems, contributing to the research and development of effective environmental solutions.

KEYWORDS: Activated carbon. Adsorption. Porosity. Removal of pollutants.

1 | INTRODUÇÃO

Carvão ativado ou biocarvão, são obtidos da matéria carbonácea porosa, apresentam forma microcristalina e não grafiticas, são ativados química ou fisicamente para que haja o aumento de sua porosidade interna. Os substratos para obtê-los são geralmente resíduos lignocelulósicos, presentes por exemplo no endocarpo do coco babaçu (Ramos *et al.*, 2009; Thierry *et al.*, 2017; Georjina *et al.*, 2022). São empregados industrialmente para o tratamento de águas, efluentes líquidos (remoção de fármacos, compostos orgânicos e inorgânicos) e gases de exaustão (Claudino, 2003; Ramos *et al.*, 2009; Thierry *et al.*, 2017; Georjina *et al.*, 2022).

Dentre as muitas propriedades dos carvões ativados, sua característica de adsorção é destacada em muitos estudos, e essa alta capacidade de adsorção tem elevado o crescimento desses materiais. Por exemplo, na remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos (drogas, corantes, pesticidas e odores) em sistemas aquosos. Os adsorventes

à base de carbono, apresentam propriedades particulares como alta área superficial, alta porosidade, fácil funcionalização, baixo custo e alta reatividade superficial (Georgin *et al.*, 2022; Fallah, *et al.*, 2022).

Quando um carvão é ativado, sua porosidade interna aumenta e, se torna, semelhante a uma rede de túneis, bifurcados em canais menores sucessivos, classificados pelo tamanho em macro, meso e microporosidade, esses padrões dependerão diretamente, da matéria precursora e do processo de fabricação utilizado para produzir o carvão. Geralmente os materiais carbonáceos apresentam área superficial que varia entre 10 e 15 m²/g, durante um processo de ativação, essa área superficial é aumentada para acima de 800 m²/g, devido à oxidação dos átomos de carbono (Claudino, 2003; Fallah *et al.*, 2022).

Nesse sentido, o objetivo deste capítulo é explorar as diferentes fontes de obtenção de biocarvão ativado, destacando suas características distintivas e investigando suas diversas aplicações.

2 I BIOCARVÃO ATIVADO: FONTES DE OBTENÇÃO E PRINCÍPIOS BÁSICOS

As matérias primas residuais para produção de carvão ativado, são as mais diversas possíveis: resíduos de café verde (Manzar *et al.*, 2020), folhas de árvores (Liakos *et al.*, 2021), cascas de coco (Bello *et al.*, 2020), cinzas de tamareira (BLAISI *et al.*, 2018), vagens de sementes de moringa (Ogunmodede *et al.* 2021), borra de café gasta (Benyekkou *et al.*, 2020), pois além do baixo custo para obter a biomassa residual, os métodos de operação e implementação são simples (Georgin *et al.*, 2022; Fallah, *et al.*, 2022). Lascas de cedro e cipreste, bambu moso, cascas de arroz, bagaço de cana de açúcar; esterco de aves, logo de efluentes agrícolas (Kameyama *et al.*, 2019).

2.1 PROCESSOS DE ATIVAÇÃO

Os processos básicos para se produzir carvão ativado, são: queima ou carbonização (pirolise) em atmosfera inerte, utilizando temperaturas acima de 473 Kelvin, onde são removidos compostos voláteis (gases de baixo peso molecular), CO, H₂, CO₂ e CH₄, gerando uma massa fixa de carbono (estrutura porosa primária), o que favorece a etapa de ativação. A ativação em si, é a segunda etapa do processo, quando o material é submetido a reações secundárias (Claudino, 2003; Ferreira, 2019; Magdalena *et al.*, 2019).

O bom desempenho desse carvão, será resultante de suas características químicas e estrutura porosa e embora o processo de obtenção influencie no produto final, a natureza do material base, tem poder de influência maior. Outros parâmetros relacionados à qualidade e rendimento do material carbonizado são: faixa de aquecimento, temperatura final, e fluxo do gás de arraste (Claudino, 2003).

A etapa de ativação, objetiva o aumento área superficial do material, sendo

fundamental para aumento da porosidade do mesmo. A ativação, é a etapa de controle das características essenciais do material (distribuição de poros, área superficial específica, atividade química da superfície, resistência mecânica), entre outras, direcionadas ou configuradas segundo a aplicação a que será destinado. Os processos de ativação são: ativação química e ativação física (Claudino, 2003; Ferreira, 2019; Magdalena *et al.*, 2019).

Na ativação química, por via de regra há a dopagem de um agente desidratante: ácido fosfórico (H_3PO_4), hidróxido de potássio (KOH) e cloreto de zinco ($ZnCl_2$), na maioria das vezes sobre o substrato ainda não carbonizado. Em seguida esse material é carbonizado, a temperaturas superiores a 673K. Posteriormente, o agente desidratante é removido, por extração (reação com ácidos no caso do $ZnCl_2$ e neutralização no caso do H_3PO_4), expondo a estrutura porosa do carvão ativado (Claudino, 2003; Silva *et al.*, 2007; Souza, 2010; Ferreira, 2019; Magdalena *et al.*, 2019). O esquema simplificado das principais etapas do processo de ativação química é mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Etapas básicas da ativação química.

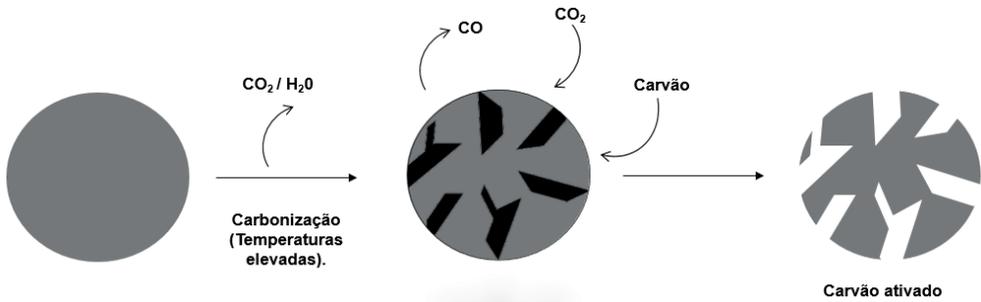


Fonte: Adaptado de Ferreira, 2019.

Segundo Thierry e colaboradores (2017), o carvão ativado quimicamente com ácido fosfórico H_3PO_4 , apresentam microporosidade bastante expressiva, contendo compostos de fósforos em escala nanométrica, distribuídos sobre sua superfície, da interação entre substrato e o reagente químico, são formados inúmeros compostos à base de fósforo, principalmente os que contem grupos fosfatos, incorporados à estrutura carbônica porosa, mostrando a eficiência do material de partida bruto, levando à produção de um carvão com grande área superficial.

A ativação física, ocorre submetendo o carvão a diferentes atmosferas gasosas que contenham oxigênio O_2 , combinado geralmente com vapor d'água $H_2O_{(g)}$ e dióxido de carbono $CO_{2(g)}$ ou mistura destes que agem como oxidantes moderados em intervalos de temperatura de 1073K a 1273K. Cineticamente a velocidade de reação do vapor d'água é oito vezes maior que a do CO_2 (Claudino, 2003). O esquema simplificado das principais etapas do processo de ativação física é mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Etapas básicas da ativação física.



Fonte: Adaptado de Silva *et al.*, 2007.

Na Tabela 1 são mostradas as principais etapas de interações entre o material vegetal e gases, envolvidas no processo de ativação física (Ferreira, 2019; Magdalena *et al.*, 2019).

Tabela 1 - Etapas de interações entre o material vegetal e gases, envolvidas durante a ativação física

ETAPA	INTERAÇÕES
1	Difusão do reagente para a superfície externa do sólido.
2	Difusão do reagente pelos poros internos do sólido.
3	Adsorção do reagente pela superfície interna do sólido.
4	Reação na superfície do sólido.
5	Dessorção dos produtos da superfície interna do sólido.
6	Difusão dos produtos pelos poros internos do sólido.
7	Difusão dos produtos da superfície externa do sólido.

Fonte: Elaborada pelos autores.

3 | CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS CARVÕES ATIVADOS

3.1 POROSIDADE

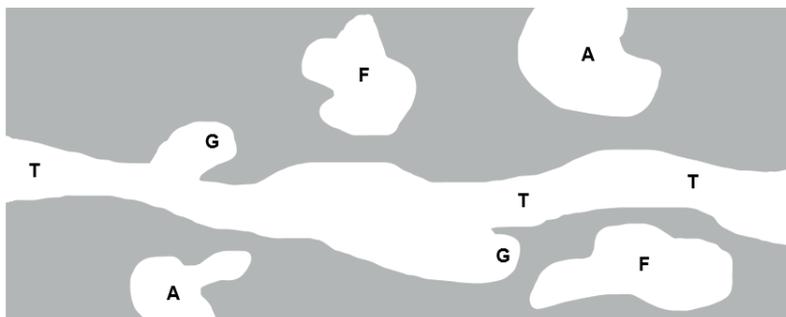
A porosidade é a características mais importante quanto ao desempenho de um carvão ativado, pois sua capacidade adsortiva, está relacionada com a estrutura dos seus poros (Silva, *et al.*, 2007; Souza, 2010; Ferreira, 2019; Magdalena *et al.*, 2019). Tomando como referência a propriedades de adsorção, a IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) estabeleceu uma classificação porosa, relacionada na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação porosa de acordo com a propriedade de adsorção.

CLASSIFICAÇÃO (IUPAC)	CARACTERÍSTICAS
<ul style="list-style-type: none"> Quanto à forma: 	<p>Faz uso das nomenclaturas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Poro aberto - para designar buracos em materiais sólidos e que se comunicam com a superfície externa (A). Poros abertos, permitem o fluxo de um fluido, sendo assim classificado como poro de transporte (T), mas podem apresentar braços que não contribuem para o fenômeno de transporte (G). Poro fechado - para designar um buraco isolado (F); Exemplos são mostrados na Figura 3.
<ul style="list-style-type: none"> Quanto à dimensão dos poros: 	<p>Classificação proposta pela (IUPAC) tendo como referência a propriedade de adsorção:</p> <ul style="list-style-type: none"> Microporos: atuam na adsorção de pequenas moléculas como: gases e solventes comuns; Mesopóros: atuam na adsorção de moléculas grandes como corantes; Macroporos: não apresentam importância expressiva na adsorção, são vias de transporte para gases;

Fonte: Elaborada pelos autores.

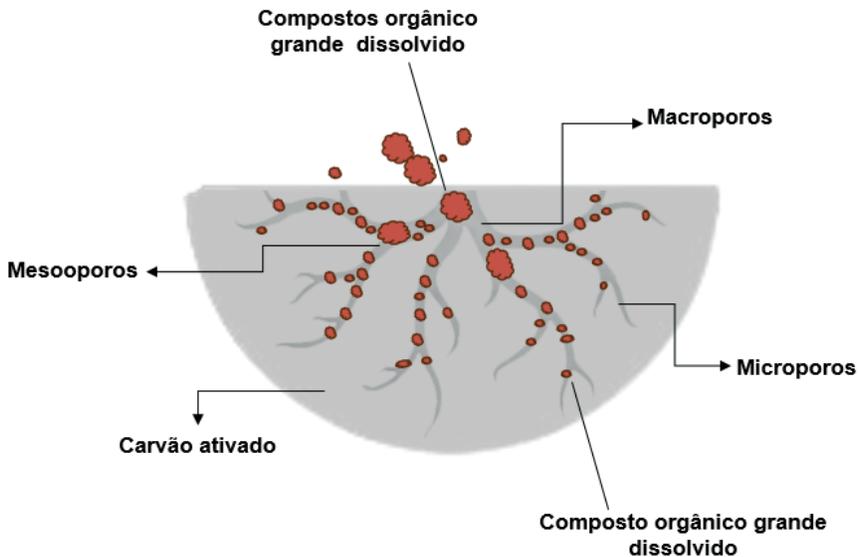
Figura 3 - Diferentes tipos de poros em um sólido quanto à forma.



Fonte: Adaptado de Claudino, 2003. Legenda: [T] poro de transporte, [A] poro aberto, [F] poro fechado e [G] poro tipo gaiola.

Por geralmente os adsorventes requerem um auto volume de poros com diâmetros pequenos. A regularidade no tamanho dos poros e afinidade de superfície. São parâmetros importantes na preparação de carvões ativados, que em sua maioria são microporosos, mas devendo também apresentar macroporos e mesoporos, por serem vias de acesso de moléculas do adsorbato para o interior das partículas de carvão (Figura 4). A cinética de adsorção é resultado da sinergia entre o fluido laminar circunvizinho ao constituinte, fenômeno de difusão interfacial e fenômeno de adsorção no interior dos poros (Claudino, 2003; Silva *et al.*, 2007; Souza, 2010; Ferreira, 2019; Magdalena *et al.*, 2019).

Figura 4 - Tipos de poros presentes no carvão ativado.



Fonte: Adaptado de Madalena *et al.*, 2009.

O fenômeno de adsorção está diretamente relacionado à tensão superficial ou energia por unidade de área do sólido, como resultado de forças de atração. As moléculas presentes no interior do sólido são constantemente submetidas a forças equivalentes e em todas as direções, essas forças se anulam à medida que outras moléculas se fixam à superfície do carvão ativado, já as moléculas superficiais são submetidas a forças de diferentes intensidades (Claudino, 2003; Silva *et al.*, 2007; Magdalena *et al.*, 2019).

As forças envolvidas nesses processos são fracas (força de *Van Der Waals*), na adsorção são consideradas físicas e as moléculas adsorvidas são facilmente liberadas (processo de dessorção). Outro fenômeno é a quimissorção, que resulta da interação química com moléculas presentes na superfície do material. Nesse processo as forças são fortes e o processo irreversível (Souza, 2010; Ferreira, 2019; Magdalena *et al.*, 2019).

3.2 QUÍMICA DE SUPERFÍCIE

Os carvões ativados possuem uma estrutura química heterogênea, apresentam átomos de oxigênio (que influenciam diretamente nas características da superfície), e hidrogênio, quimicamente ligados e componentes inorgânicos (cinzas). Há a presença de carbonos insaturados, formando nuvens de elétrons, muito importantes para a quimissorção do oxigênio. Os átomos de oxigênio podem ser adsorvidos pela superfície de um carvão de duas formas: física (reversível) ou química (irreversível). A temperatura exerce efeito direto no processo de quimissorção do oxigênio, pois à medida que é aumentada, provoca o rompimento de ligações químicas e conseqüentemente liberam elétrons que reagem com átomos de carbono (Silva *et al.*, 2007; Souza, 2010; Ferreira, 2019; Magdalena *et al.*, 2019).

As características químicas da superfície podem ser classificadas ainda em ácidas e básicas. Características ácidas estão relacionadas à interação do oxigênio com os seguintes grupos orgânicos: carboxilas, lactonas e fenóis. Já as propriedades básicas são originadas de compostos como piranos, éter, hidroxilas e carbonilas. Essas características poderão sofrer alterações quando na presença de agentes oxidantes em seu tratamento, pois fixam na superfície do adsorvente compostos oxigenados como: carboxila, lactonas, fenóis, cetonas, quinonas, álcoois e éteres (Souza, 2010; Ferreira, 2019; Silva *et al.*, 2007; Magdalena *et al.*, 2019; Fallah *et al.*, 2022).

4 | BIOCARVÃO ATIVADO: USOS E APLICAÇÕES

Nos últimos anos devido a pandemia da COVID-19, houve um aumento no consumo de algumas medicações como cloroquina, dipirona (Januário *et al.*, 2022), paracetamol (Georgin *et al.*, 2022), diclofenaco (Correa-Navarro *et al.*, 2020). A observação continua desses e outros medicamentos no meio ambiente, tem despertado os estudos sobre o tema, por serem medicações administradas no mundo todo, e que mesmo em baixas concentrações, exposições longas prazo por organismos vivos, podem lhes causar danos irreversíveis (Georgin *et al.*, 2022; Januário *et al.*, 2022). A Tabela 3, relaciona estudos que relatam o uso de carvão ativado na adsorção de fármacos.

Tabela 3 - Adsorção de drogas em carvões ativados.

ESTUDOS	COMPOSTO(S) ADSORVIDO(S)
Januário <i>et al.</i> , 2022	Cloroquina, dipirona
Georgin <i>et al.</i> , 2022; Bernal <i>et al.</i> , 2020; Cimirro <i>et al.</i> , 2020.	Paracetamol
Correa-Navarro <i>et al.</i> , 2020; de Franco <i>et al.</i> , 2018.	Diclofenaco
Li <i>et al.</i> , 2019.	Vitamina B12
Bernal <i>et al.</i> , 2020.	Triclosan
Haro <i>et al.</i> , 2020.	Atenolol
Bernal <i>et al.</i> , 2020.	Metilparabeno
Bernal <i>et al.</i> , 2020; Cimirro <i>et al.</i> , 2020.	Ácido acetil salicílico
Del Vecchio <i>et al.</i> , 2019.	Ampicilina
Bhattacharyya <i>et al.</i> , 2019.	Ranitidina
Kalumpha <i>et al.</i> , 2020.	Cloridrato de metformina
Teixeira <i>et al.</i> , 2019.	Metronidazol e Sulfametoxazol
Erdem <i>et al.</i> , 2020.	Etodolaco
Geczo <i>et al.</i> , 2021.	Acetaminofeno
Schultz <i>et al.</i> , 2020.	Amoxicilina
Bello <i>et al.</i> , 2020	Ibuprofeno

Fonte: Elaborada pelos autores.

Estudos realizados por Vieira *et al.* (2020) e Sondermeijer *et al.* (2016), relatam respectivamente, o uso de carvão ativado na purificação do óleo do coco babaçu e purificação do alginato de sódio, um biomaterial eficaz para aplicações de engenharia de tecidos. Segundo Sondermeijer *et al.* (2016), o alginato não purificado apresenta impurezas como: proteínas, lipopolissacarídeos, DNA e RNA, que podem provocar reações imunológicas não desejadas. Os resultados alcançados mostraram que o processo de purificação foi eficaz pois reduziu em 70% proteínas residuais, 62% DNA, 61% RNA e redução dos lipopolissacarídeos acima de 90%.

O uso de carvão ativado para adsorção de poluentes, em diferentes estados de agregação, resulta de suas características peculiares, propriedades texturais e natureza química superficial. Inúmeros processos industriais são poluentes da água, pois liberam compostos orgânicos poluentes, como o fenol. Devido ao crescimento das grandes cidades, e conseqüentemente, de grandes centros industriais, o aumento na concentração de substâncias tóxicas a níveis inaceitáveis, pondo em perigo a saúde e a vida dos seres humanos, aumentam na mesma proporção (Correa-Navarro *et al.*, 2020; Bernal *et al.*, 2020; El-Nemr *et al.*, 2022; Melo *et al.*, 2022).

Compostos orgânicos como os fenóis, são potenciais contaminantes das águas, por meio das emissões dos efluentes industriais, de papel e celulose, refino de petróleo, petroquímica, siderúrgica e plásticos. Por sua alta volatilidade e solubilidade em água, eles conferem gosto e odor em águas potáveis mesmo em pequenas escalas. As ações no organismo ocorrem de duas maneiras: local (cáusticas), e geral (através da Ingestão), provoca severa gastroenterite com dores, vômitos e diarreias (Claudino, 2003; Correa-Navarro *et al.*, 2020; El-Nemr *et al.*, 2022; Melo *et al.*, 2022).

Há também danos sobre o Sistema Nervoso Central (SNC), cefaleias, vertigens, fraqueza muscular, convulsão e coma, níveis ou concentrações acima de 1 grama podem ser fatal. Um estudo sobre a capacidade de adsorção do fenol em solução aquosa sobre dois adsorventes de carvão mineral, demonstraram boa capacidade dos adsorventes na adsorção de fenol (Correa-Navarro *et al.*, 2020; Bernal *et al.*, 2020; El-Nemr *et al.*, 2022; Melo *et al.*, 2022). Na Tabela 4 observa-se estudos que relatam o uso de carvão ativado na adsorção de compostos orgânicos e inorgânicos e pesticidas.

Tabela 4 - Estudos sobre adsorção de compostos orgânicos, inorgânicos e pesticidas em carvões ativados.

ESTUDOS PUBLICADOS	COMPOSTO (OS) ADSORVIDO (OS)
Claudino, 2003.	Fenol e Monóxido de nitrogênio (NO)
El-Nemr, <i>et al.</i> , 2022.	Corante laranja ácido 7
Melo <i>et al.</i> , 2022.	Corante azul de metileno
Correa-Navarro <i>et al.</i> , 2020.	Cafeína
Bernal <i>et al.</i> , 2020.	Fenol
Amiri <i>et al.</i> , 2020.	Ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)
Rolph <i>et al.</i> , 2018.	Metaldeído
Grant <i>et al.</i> , 2018.	Pacobutrazol
Ahmad <i>et al.</i> , 2019.	Iodo- sulfuron
Hgeig <i>et al.</i> , 2019; Wang <i>et al.</i> , 2019.	Carbendazim
Hgeig <i>et al.</i> , 2019.	Linuron

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nesse sentido, a Tabela 4 fornece uma visão abrangente dos estudos relacionados à adsorção de uma ampla gama de compostos orgânicos, inorgânicos e pesticidas em carvões ativados. Esses estudos destacam a versatilidade e eficácia do carvão ativado como um agente de adsorção para diferentes substâncias. O uso de carvão ativado nestes estudos demonstra seu potencial como uma ferramenta valiosa na remoção e tratamento de poluentes, oferecendo uma contribuição significativa para a pesquisa e desenvolvimento de soluções ambientais sustentáveis e eficazes.

É importante destacar que poluentes atmosféricos, como óxidos de nitrogênio, em que cerca de 95%, se apresentam na forma de monóxido de nitrogênio (NO), são danosos ao meio ambiente, pois atuam na formação da chuva ácida e poluição fotoquímica. Estudos, mostram a eficiência no uso de carvão ativado, em reações de redução dos gases: NO em N₂ e CO₂ (Correa-Navarro *et al.*, 2020; Bernal *et al.*, 2020; El-Nemr *et al.*, 2022; Melo *et al.*, 2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A obtenção de biocarvão ativado a partir de resíduos lignocelulósicos revela uma abordagem promissora e sustentável para a produção de materiais altamente eficientes na adsorção de uma variedade de compostos orgânicos, inorgânicos e poluentes atmosféricos. Os processos de ativação, tanto químicos quanto físicos, desempenham um papel crucial na criação de uma estrutura porosa com alta área superficial, tornando este material uma solução valiosa na remoção de poluentes e purificação de sistemas aquosos. À medida que se enfrenta desafios relacionados ao aumento do consumo de medicamentos e à crescente preocupação com a poluição ambiental, o biocarvão ativado se destaca como uma ferramenta versátil e eficaz, contribuindo para soluções ambientais sustentáveis e proteção da saúde pública.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais da Universidade Federal do Piauí (UFPI).

REFERÊNCIAS

AHMAD, K. S. Adsorption evaluation of herbicide iodosulfuron followed by cedrus deodora sawdust-derived activated carbon removal. **Soil and Sediment Contamination: An International Journal**, v. 28, n. 1, p. 65–80, 2019.

AMIRI, M. J., ROOHI, R., ARSHADI, M., ABBASPOURRAD, A. 2,4-D adsorption from agricultural subsurface drainage by canola stalk-derived activated carbon: insight into the adsorption kinetics models under batch and column conditions. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 14, n. 27, p. 16983–16997, 2020.

BELLO, O. S., MOSHOOD, M. A.; EWETUMO, B. A., AFOLABI, I. C. Ibuprofen removal using coconut husk activated Biomass. **Chemical Data Collections**, v. 29, n. 100533, 2020.

BENYEKKOU, N., GHEZZAR, M. R., ABDELMALEK, F., ADDOU, A. Elimination of paracetamol from water by a spent coffee grounds biomaterial. **Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management**, v. 14, n. 100396, 2020.

BERNAL, V., GIRALDO, L., MORENO-PIRAJÁN, J. C. Insight into adsorbate–adsorbent interactions between aromatic pharmaceutical compounds and activated carbon: equilibrium isotherms and thermodynamic analysis. **Adsorption**, v. 26, p. 153-163, 2020.

BERNAL, V., GIRALDO, L., MORENO-PIRAJÁN, J.C. Thermodynamic analysis of acetaminophen and salicylic acid adsorption onto granular activated carbon: importance of chemical surface and effect of ionic strength. **Thermochim Acta**, v. 683, n. 178467, 2020.

BERNAL, V., GIRALDO, L., MORENO-PIRAJÁN, J.C. Thermodynamic study of triclosan adsorption from aqueous solutions on activated carbon. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, n. 139, p. 913-921, 2020.

BHATTACHARYYA, S., DAS P, DATTA S. In: Ghosh SK (Ed.), Removal of Ranitidine from Pharmaceutical Waste Water Using Activated Carbon (AC) Prepared from Waste Lemon. **Waste Water Recycling and Management**, v. 3, p. 123-141, 2019.

BLAISI, N. I., ZUBAIR, M., ULLAH, I., ALI, S., KAZEM, T., MANZAR, S. M., AL-KUTTI, W., AL-HARTHI, M. Date palm ash-MgAl composite: sustainable adsorbent for effective removal of methyl Orange and eriochrome black-T from aqueous phase. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 34319-34331, 2018.

CIMIRRO N. F. GM, LIMA EC, CUNHA MR, DIAS SLP, THUE PS, MAZZOCATO AC, DOTTO GL, GELESKY MA, PAVAN FA, 2020. Removal of pharmaceutical compounds from aqueous solution by novel activated carbon synthesized from lovegrass (Poaceae). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 21442–21454, 2020.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

CORREA-NAVARRO, Y. M., GIRALDO, L., MORENO-PIRAJÁN, J. C. Biochar from Fique Bagasse for Remotion of Caffeine and Diclofenac from Aqueous Solution. **Molecules**, v. 25, n. 8, p.1849, 2020.

DEL VECCHIO, P., HARO, N. K., SOUZA, F. S., MARCÍLIO, N.R, FÉRIS, L. A. Ampicillin removal by adsorption onto activated carbon: kinetics, equilibrium and thermodynamics. **Water Science & Technology**, v. 79, p. 2013-2021, 2019.

EL NEMR, M. A., EL NEMR, A., HASSAAN, M. A., RAGAB, S., TEDONE, L., de MASTRO, G., ANTONIO PANTALEO. Microporous Activated Carbon from *Pisum sativum* Pods Using Various Activation Methods and Tested for Adsorption of Acid Orange 7 Dye from Water. **Molecules**, v.15, n. 27, p. 4840, 2022.

ERDEM, H., YILDIZ, B., ŞAHIN, M, ERDEM, M. Etodolac adsorption onto activated carbon prepared by chemical activation and pyrolysis of biomasses mixture, *Biomass Convers.* **Biorefinery**, v.10, p. 1153-1165, 2020.

FALLAH, Z., ZARE, E. N., GHOMI, M.; AHMADIJOKANI, F.; AMINI, M., TAJBAKHS, M., ARJMAND, M., SHARMA, G., ALI, H.; AHMAD, A.; MAKVANDI, P.; LICHTFOUSE, E.; SILLANPÄÄ, M.; VARMA, R. S. Toxicity and remediation of pharmaceuticals and pesticides using metal oxides and carbon nanomaterials. **Chemosphere**, v. 275, n. 130055, p.1-66, 2022.

FERREIRA, L. M. **Caracterização do bioadsorvente produzido a partir da torta de mamona (*Ricinus communis* L.)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2019.

FRANCO, M. A. E., de CARVALHO, C. B., BONETTO, M. M., SOARES, R. de P., FÉRIS, L. A. Diclofenac removal from water by adsorption using activated carbon in batch mode and fixed-bed column: isotherms, thermodynamic study and breakthrough curves modeling. **Journal of Cleaner Production**, v. 181, p. 145–154, 2018.

GECZO, A., GIANNAKOUDAKIS, D. A., TRIANTAFYLLIDIS, K., ELSHAER, M. R., RODRÍGUEZ-AGUADO, E., BASHKOVA, S. Mechanistic insights into acetaminophen removal on cashew nutshell biomass-derived activated carbons. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 58969–58982, 2021.

GEORGIN, J., FRANCO, D. S. P., NETTO, M. S., MANZAR, M. S., ZUBAIR, M., MEILI, L., PICCILLI, D. G. A., SILVA, L. F. O. Adsorption of the First-Line Covid Treatment Analgesic onto Activated Carbon from Residual Pods of *Erythrina Speciosa*. **Environmental Management**, n. 71, p. 795-808, 2023.

GRANT, G. A., FISHER, P. R., BARRETT, J. E., WILSON, P. C. Removal of paclobutrazol from irrigation water using granular-activated carbono. **Irrigation Science**, v.36, p.159-166, 2018.

HARO, N. K., DEL VECCHIO, P., MARCÍLIO, N. R., FÉRIS, L. A. Removal of atenolol by adsorption – study of kinetics and equilibrium. **Journal of Cleaner Production**, v.154, p. 214-219, 2017.

HGEIG, A., NOVAKOVIĆ, M., MIHAJLOVIĆ I. Sorption of carbendazim and linuron from aqueous solutions with activated carbon produced from spent coffee grounds: equilibrium, kinetic and thermodynamic approach. **Journal Environmental Science Health Part B**, v. 54, n. 4, p. 226-236, 2019.

JANUÁRIO, E. F. D., FACHINA, Y. J., WERNKE, G., DEMITI, G. M. M., BELTRAN, L. B., BERGAMASCO, R., VIEIRA, A. M. S. Application of activated carbon functionalized with graphene oxide for efficient removal of COVID-19 treatment-related pharmaceuticals from water. **Chemosphere**, v. 289, n. 133213, 2022.

KALUMPHA, M., GUYO, U., ZINYAMA, N. P., VAKIRA, F. M., NYAMUNDA, B. C. Adsorptive potential of Zea mays tassel activated carbon towards the removal of metformin hydrochloride from pharmaceutical effluent. **International Journal of Phytoremediation**, v. 22, n. 2, p. 148-156, 2020.

KAMEYAMA, K., MIYAMOTO, T., IWATA, Y. The Preliminary Study of Water-Retention Related Properties of Biochar Produced from Various Feedstock at Different Pyrolysis Temperatures. **Materials**, v.11, n. 12, p. 1732, 2019.

LI, Y., BIISEMBAEV, M., GONG, Q., AKNAZAROV, S., LU, F., HUANG, Y., ZHAO, X., DU, K., BAI, J. F., GAN, J., ZHAO, M., ZHUANG, D. Preparation of Lotus Root-Type Monolithic-Activated Carbons with an Hierarchical Pore Structure from Rice Husks and Their Adsorption of Vitamin B12. **ACS Omega**, v. 4, n. 20, p. 18930-18935, 2019.

LIAKOS, E. V., REKOS, K., GIANNAKOUDAKIS, D. A., MITROPOULOS, A. C., FU, J., KYZAS, G. Z. Activated Porous Carbon Derived from Tea and Plane Tree Leaves Biomass for the Removal of Pharmaceutical Compounds from Wastewaters. **Antibiotics (Basel)**, v. 10, n. 1, 2021.

MAGDALENA, R. A. V. C.; BEATI, A. A. G.; GUILHERME, C. D.; DIAS, C. N.; FERREIRA JR., D. A.; RAIMUNDO. Carvão ativo de materiais alternativos como adsorvente de poluentes ambientais. **Relatório Técnico**, p. 1-29, 2019.

MANZAR, M. S., ZUBAIR, M., KHAN, N. A., KHAN, A. H., BAIG, U., AZIZ, M. A. Adsorption behaviour of green coffee residues for decolourization of hazardous congo red and eriochrome black T dyes from aqueous solutions. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, v. 102, n. 18, p. 6405-6421, 2022.

MELO, A. L. F. C., CARNEIRO, M. T., NASCIMENTO, A. M. S. S., MORAIS, A. I. S., BEZERRA, R. D. S.; VIANA, B. C., OSAJIMA, J. A., SILVA-FILHO, E. C. Biochar Obtained from *Caryocar brasiliense* Endocarp for Removal of Dyes from the Aqueous Medium. **Materials**, v. 24, n.15, p. 9076, 2022.

OGUNMODEDE, J., AKANJI S. B., BELLO O. S. Moringa oleifera seed pod-based adsorbent for the removal of paracetamol from aqueous solution: A novel approach toward diversification. **Environmental Progress and Sustainable Energy**, v. 40, n. 7, 2021.

RAMOS, P. H., GUERREIRO, M. C., RESENDE, E. C., GONÇALVES, M. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (PVA) do café. **Química Nova**, v. 32, n. 5, p. 1139-1143, 2009.

ROLPH, C. A., JEFFERSON, B., HASSARD, F., VILLA, R. Metaldehyde removal from drinking water by adsorption onto filtration media: mechanisms and optimisation. **Environmental Science: Water Research & Technology**, v. 4, p. 1543-1552, 2018.

SCHULTZ, J., CAPOBIANCO, G., VEIGA, P. A. da S., FORNARI, M. R., ANTONANGELO, A. R., TEBCHERANI, S. M., MANGRICH, A. S., PIANARO, A. S. Sustainable activated carbon obtained as a by-product of the sugar and alcohol industry for removal of amoxicillin from aqueous solution. **Energy, Ecology and Environment**, v. 5, p. 433-443, 2020.

SILVA, J. S.; BARROS, R. S.; CRUZ, L. O.; CRUZ, L. O.; ANI, F. N.; SALGADO, M. F. Produção de carvão ativado da casca do babaçu e sua eficiência no tratamento de água para o consumo humano. **Engenharia Florestal: Desafios, Limites e Potencialidade**, p. 1- 32, 2007.

SONDERMEIJER, H. P., WITKOWSKI, P., WOODLAND, D., SEKI, T., AANGENENDT, F. J., LAARSE, A. V. D., ITESCU, SILVIU, HARDY, M. A. Optimization of alginate purification using polyvinylidene difluoride membrane filtration: Effects on immunogenicity and biocompatibility of three-dimensional alginate scaffolds. **Journal of Biomaterials Applications**, v. 4, n. 3, p. 510-520, 2016.

SOUZA, J. P. de. **Produção e modificação de carvões ativados a partir de matérias-primas de baixo custo: osso bovino e cascas de sementes de moringa**. 2010. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

TEIXEIRA, S., DELERUE-MATOS, C., SANTOS, L. Application of experimental design methodology to optimize antibiotics removal by walnut shell based activated carbono. **Science of The Total Environment**, v. 646, p. 168-176, 2019.

THIERRY R. L., CIPRIANO, D. F., GONÇALVES, G. R., HONORATO, H. A., SCHETTINO JR, M. A., CUNHA, A. G., EMMERICH, F. G., FREITAS, J. C.C. Multinuclear magnetic resonance study on the occurrence of phosphorus in activated carbons prepared by chemical activation of lignocellulosic residues from the babassu production. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, n. 6, p. 6016- 6029, 2017.

VIEIRA, J. S. C., CHAVES, D. C., FIDELIS, Q. C., PEREIRA, E. C., MORAIS, M. M., ALVES, W. S., MACHADO, F. M., GOMES, G. C. Clarificação e desodorização de óleo vegetal de babaçu (*Orbinya speciosa*) para fins alimentícios, **Brazilian Journal of Development**. v. 6, n. 9, p.67489-67498, 2020.

WANG, T., ZHANG, Z., ZHANG, H., ZHONG, X., LIU, Y., LIAO, S., YUE, X., ZHOU, G. Sorption of carbendazim on activated carbons derived from rape straw and its mechanism. **RSC Advances**, v. 9, n. 71, p. 41745-41754, 2019.