



ACESSO ABERTO

O USO DO CARVÃO DE BAMBU PARA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES EM ÁGUA**Data de Recebimento:**

10/01/2023

Letícia Gabriele Crespilho Abel¹, Kleper de Oliveira Rocha², Maristela Gava³**Data de Aceite:**

03/06/2023

¹ Ciência Florestal, Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista. Avenida Universitária, 3780, CEP: 18610-034, Botucatu-SP.**Data de Publicação:**

26/06/2023

² Departamento de Química, Faculdade de Ciências - Universidade Estadual Paulista. Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, CEP: 17033-360, Bauru-SP.³ Ciência Florestal, Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista. Avenida Universitária, 3780, CEP: 18610-034, Botucatu-SP.***Autor correspondente:**Letícia Gabriele Crespilho Abel,
leticia.crespilho@unesp.br**RESUMO**

Citação: ABEL, L. G. C. ROCHA, K. O., GAVA, M. O uso do carvão de bambu para remoção de contaminantes em água. **Revista Multidisciplinar em Educação e Meio Ambiente**, v. 4, n. 1, 2023. <https://doi.org/10.51189/integrar/rema/3747>

Introdução: O carvão vegetal é proveniente de resíduos de base biológica com porosidade específica para atuar como composto filtrante, tanto para remover a cor quanto as impurezas dos líquidos. É produzido a partir de processo físico e/ou químico, ou seja, carbonização seguida de ativação com reagentes químicos. O carvão é utilizado no processo de adsorção, o qual consiste na remoção de contaminantes de um meio fluido, denominado adsorvato, para um composto filtrante, denominado adsorvente. O bambu é considerado um material economicamente e tecnicamente viável para ser convertido em carvão ativado como forma de mitigar os impactos ambientais na água. **Objetivo:** avaliar o uso do bambu na produção de carvão vegetal e sua respectiva aplicação como adsorvente de contaminantes em água. **Métodos:** o levantamento bibliográfico, relacionado ao tema de adsorção de contaminantes por intermédio do bambu, foi realizado através de leitura e análise de artigos publicados, entre 2017 a 2022. **Resultados:** o aproveitamento de biomassas de baixo custo apresentam interessantes características para serem utilizadas como adsorventes alternativos para a remoção de diversos poluentes. O bambu recebe destaque para produção de carvão vegetal, visto que possui rápido crescimento, elevada quantidade e boa distribuição de poros ao longo de sua superfície. **Conclusão:** de acordo com a literatura é possível utilizar o bambu como adsorvente para a remoção de diversos poluentes, visto que essa matéria prima apresenta excelentes características, além de ser uma opção economicamente viável.

Palavras-chave: Carvão ativado, bambu, adsorção.

ABSTRACT

Introduction: charcoal comes from bio-based waste with specific porosity to act as a filter compound, both to remove color and impurities from liquids. It is produced from a physical and/or chemical process, that is, carbonization followed by activation with chemical reagents. Charcoal is used in the adsorption process, which consists of removing contaminants from a fluid medium, called adsorbate, to a filtering compound, called adsorbent. Bamboo is considered an economically and technically viable material to be converted into activated carbon as a way to mitigate environmental impacts on water. **Objective:** to evaluate the use of bamboo in the production of charcoal and its respective application as an adsorbent of contaminants in water. **Methods:** the bibliographic survey, related to the topic of adsorption of contaminants through bamboo, was carried out through reading and analysis of articles published between 2017 and 2022. **Results:** the use of low-cost biomasses has interesting characteristics to be used as alternative adsorbents for the removal of various pollutants. Bamboo is highlighted for the production of charcoal, since it has fast growth, high quantity and good distribution of pores along its surface. **Conclusion:** according to the literature, it is possible to use bamboo as an adsorbent for the removal of various pollutants, since this raw material has excellent characteristics, in addition to being an economically viable option.

Keywords: activated carbon, bamboo, adsorption.

1 INTRODUÇÃO

A contaminação e degradação dos ecossistemas por gases poluentes, resíduos de atividades industriais e agrícolas, resíduos orgânicos e produtos químicos têm sido discutido na sociedade atual, pois provocam um desequilíbrio nos ecossistemas e geram malefícios ao meio ambiente (CHEN et al., 2020).

O solo atua como um depurador de resíduos, filtrando grande parte das impurezas nele depositadas. No entanto, como sua capacidade é limitada, ocorre alteração na qualidade do mesmo, devido ao efeito cumulativo da deposição de poluentes, como os advindos da disposição de resíduos sólidos, aplicação de agrotóxicos e fertilizantes, entre outros (OLIVEIRA, 2017). Devido ao descarte de resíduos, seja orgânico ou inorgânico, há a necessidade da utilização de técnicas ou tecnologias para a remoção dos poluentes, os quais são capazes de oferecer riscos à saúde humana e animal (PIQUET; MARTELLI, 2022).

Metais pesados como manganês, chumbo e cádmio são considerados elementos tóxicos e frequentemente encontrados em águas de lixões domésticos. A presença de Cádmio, por exemplo, em nível excessivo no corpo humano, pode causar a formação de miomas uterinos, abortos, diminuição de espermatozoides (COSTA; BORGES; SOTO-BLANCO, 2020). O Chumbo pode causar hipertensão, paralisia facial, efeitos cardiovasculares e câncer (COSTA, 2020). O Manganês afeta o sistema nervoso central, diminuição de neurônios, distúrbios mentais e emocionais (FREITAS VAN OPSTAL NASCIMENTO; GASPAR GONZALEZ, 2018).

Com o intuito de mitigar os impactos ambientais ocasionados pelo descarte incorreto dos resíduos, uma fonte alternativa é a conversão de biomassas em adsorventes. Essa técnica, denominada adsorção, é considerada renovável, de baixo custo e de fácil acesso. O processo consiste na remoção de poluentes orgânicos ou inorgânicos presentes em um meio fluido, conhecidos como adsorbatos, por intermédio de uma estrutura proveniente de um material adsorvente (ADENIYI et al., 2019).

O carvão ativado é o adsorvente mais utilizado pela indústria devido à sua versatilidade e eficácia no processo adsorptivo para remoção de metais em efluentes, por exemplo. No entanto possui alto custo

comercial, dificultando sua utilização. Com isso, o bambu apresenta-se como um excelente bioadsorvente capaz de remover contaminantes em água, além de ser considerado uma planta muito versátil em decorrência de seus valores econômicos e ambientais.

O bambu é uma planta fibrosa pertencente à família Gramineae ou Poaceae, subfamília Bambusoideae e é composta de aproximadamente 45 gêneros e 1.300 espécies espalhadas pelo mundo. Essa planta possui rápido crescimento e longo ciclo de vida, podendo variar de 5 a 20 anos de idade, e apresenta grande potencial agrícola, uma vez que possui elevada velocidade de crescimento, atingindo, em média, 30 metros de altura, bom aproveitamento por área e grande produção de biomassa. Com isso, torna-se uma alternativa mundial no aumento da produtividade agrícola, sendo alvo de pesquisas (PEDRANGELO, 2020).

Inúmeros fatores influenciam no processo de adsorção, tais como: as características do adsorvato, propriedades do adsorvente (área superficial, distribuição dos poros e a presença de grupos funcionais) e condições operacionais como a temperatura e pH (NASCIMENTO et al., 2020).

Na forma *in natura*, os resíduos utilizados como adsorventes geralmente são lavados, secos e triturados. No entanto, para sua ativação e melhor desempenho no processo adsorptivo, é importante a realização de tratamentos físico e/ou químico. Para a ativação física, ocorre a eliminação de impurezas por intermédio da pirólise, com o objetivo de obter um produto com uma estrutura constituída basicamente por carbono, aumentando sua área superficial. A ativação química, utiliza reagentes ativantes com propriedades ácidas, como $ZnCl_2$, H_3PO_4 , HCl e H_2SO_4 , além de reagentes básicos como KOH e $NaOH$ (PERRICH, 2018).

O estudo do equilíbrio de adsorção é considerado um requisito essencial para obtenção de informações relevantes sobre o andamento dos testes de adsorção, bem como a avaliação do desempenho do mesmo (NASCIMENTO et al, 2020).

Estima-se que cerca de 12 a 20 toneladas de resíduos oriundos de diversas atividades antrópicas são descartadas de forma inadequada nos ecossistemas, promovendo impactos significativos no meio ambiente. Portanto o objetivo desse trabalho é avaliar o uso do bambu na produção de carvão vegetal e sua respectiva aplicação como adsorvente de contaminantes em água, uma vez que os poluentes prejudicam drasticamente a qualidade das águas e causam malefícios à saúde dos seres vivos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho tem como modelo a revisão bibliográfica, onde ocorreu a seleção de vários artigos referente ao tema proposto. A plataforma utilizada para a realização da pesquisa foi o Google Acadêmico, durante o período de julho de 2022 a outubro de 2022.

No campo de pesquisa do Google Acadêmico foram utilizadas palavras-chave, tais como “Adsorção”, “Carvão ativado”; “Carvão vegetal”, “Bioadsorvente”, “Contaminantes”, “Meio ambiente”, “Metais pesados”. Em idioma inglês, as buscas foram “Adsorption”, “Bioadsorbent”, “Contaminants”, “Environment”, “Charcoal”.

Para este trabalho foi priorizado a utilização de artigos publicados entre 2017 a 2022. Inicialmente foi realizada a leitura do resumo e introdução dos trabalhos encontrados e, caso abordassem os assuntos relacionados à essa pesquisa, foram utilizados nesta revisão.

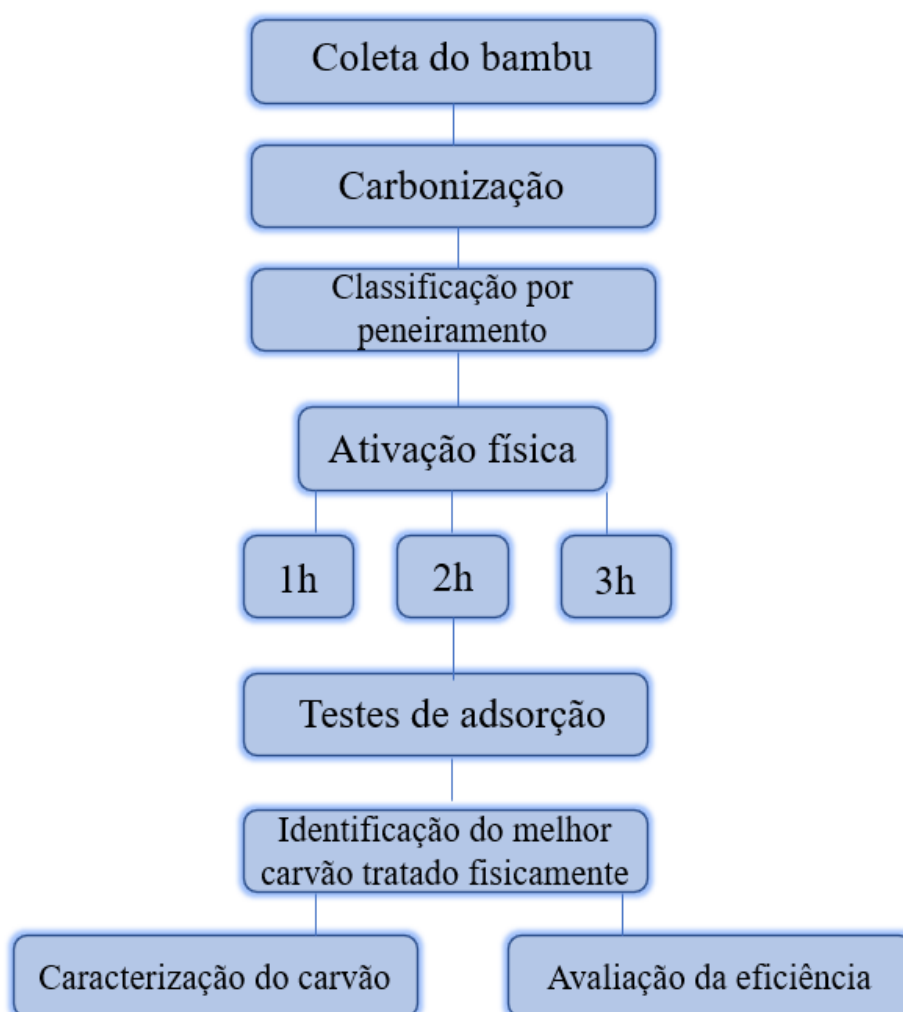
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as pesquisas realizadas foram encontradas quantidade significativa de trabalhos vinculados ao tema em questão. Atualmente assuntos relacionados ao meio ambiente têm sido amplamente empregado em estudos e, essencialmente, quando relacionados à qualidade das águas.

A partir das buscas feitas ao longo deste levantamento de dados foi possível observar diversos estudos desenvolvidos utilizando carvão vegetal para o tratamento de águas. Ademais, matérias primas provenientes de diferentes fontes vegetais foram mencionadas, inclusive o bambu. Isso pode ser explicado devido aos resultados promissores que esses materiais apresentam, recebendo destaque o bambu de diferentes espécies.

Silva (2019) produziram carvão vegetal a partir do caule do bambu (*Bambusa vulgaris*), por intermédio de ativação física em diferentes temperaturas, com o intuito de verificar a eficiência do processo de adsorção. Para isso, a amostra de bambu foi carbonizada à 550°C por 3 horas e ativada termicamente à 800°C em tempos de 1, 2 e 3 horas. O fluxograma da metodologia utilizada para produção de carvão vegetal está representado abaixo (Figura 1).

Figura 1: Fluxograma da metodologia utilizada para produção de carvão vegetal.



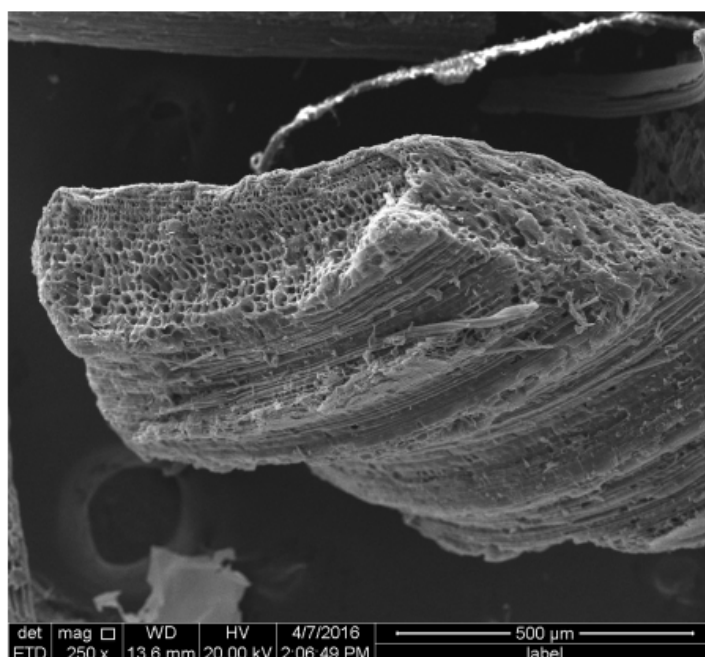
Fonte: Autoria própria.

De acordo com as análises de microscopia eletrônica de varredura, foi possível observar que a ativação física realizadas em diferentes tempos (1, 2 e 3 horas) proporcionou diferentes modificações nas estruturas. As amostras ativadas durante 2 e 3 horas apresentaram disposição dos poros mais definidas, principalmente no topo com a formação de crateras (tipo colmeia). Os autores determinaram que o carvão ativado à 800°C pelo tempo de 2 horas obteve melhor desempenho na adsorção de íons de cobre (II), com índices acima de 95%, além de apresentar uma estrutura porosa com alto teor de carbono (SILVA, 2019).

Os autores Müller et al (2019) avaliaram a adsorção do corante azul de metileno em solução aquosa, utilizando serragem de madeira pinus (*Pinus elliottii*) e bambu (*Drepanostachyum falcatum*). A caracterização realizada nestas matérias primas mostrou que o carvão do pinus apresentou maior volume de poro ($2,478 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$; $0,006 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) quando comparado ao bambu ($1,514 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$; $0,005 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$), além de que o diâmetro médio dos poros do bambu ($36,68 \text{ \AA}$) foi maior que o diâmetro médio dos poros do pinus ($31,68 \text{ \AA}$). Os resultados dos testes de adsorção demonstraram capacidade de remoção de 47 mg.g^{-1} e de 38 mg.g^{-1} de azul de metileno, para o pinus e bambu, respectivamente.

Morais et al (2019) ativaram fisicamente o bambu da espécie *bambusa vulgaris* utilizando vapor de água. O processo de adsorção ocorreu no período de 24 horas em contato com o corante azul de metileno. A morfologia do carvão obtido através da análise microscopia eletrônica de varredura (MEV) pode ser visualizada abaixo (Figura 2).

Figura 2: Morfologia do carvão da espécie *bambusa vulgaris*.

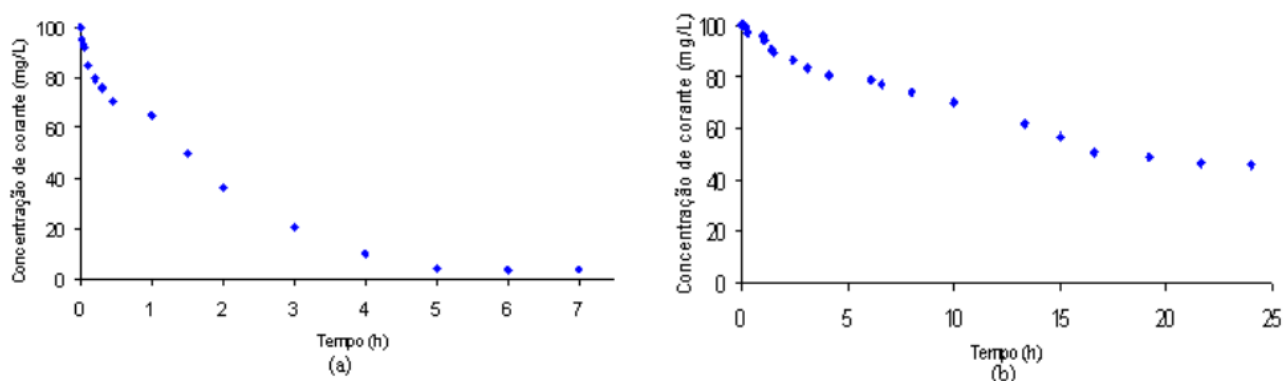


Fonte: Morais et al (2019).

A análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) permitiu visualizar que o carvão obtido após o processo de ativação apresentou poros bem desenvolvidos e com diferentes tamanhos e formas. Pode-se afirmar que o material é considerado de alta porosidade, de natureza microporosa e com uma boa distribuição, apresentando área superficial de $684,69 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$. Observa-se por estes resultados que o processo de ativação desempenha um papel fundamental para o aumento da área superficial para o carvão de bambu, assim como para outros biocarvões amplamente estudados na literatura.

Estudos utilizando o carvão ativado ósseo e o bambu in natura foram realizados com o intuito de avaliar a remoção do corante Azul de Metileno (Figura 3). O carvão ósseo granulado de origem bovina foi obtido por uma indústria e apresentava o diâmetro de 0,84 mm. O bambu in natura foi inicialmente seco à 60 °C e, posteriormente, triturado em um moedor (SANTOS et al, 2014).

Figura 3 – Resultados do ensaio cinético para cada material adsorvente: (a) carvão ativado ósseo e (b) bambu in natura.



Fonte: Santos et al (2014).

De acordo com os resultados, o adsorvente bambu na forma in natura obteve o tempo de equilíbrio em 24 horas e o carvão ativado ósseo com apenas 6 horas. Após o término dos testes de adsorção foi possível verificar que o carvão ativado ósseo e a fibra de bambu in natura removeram 96,5 e 53,9 mg L⁻¹, respectivamente, ou seja, o carvão ativado ósseo apresentou uma capacidade de adsorção maior ($\pm 41\%$) comparado à fibra de bambu in natura.

O carvão ativado ósseo utilizado neste estudo é um produto comercial e possui elevado custo, quando comparado ao bambu, que é regionalmente disponível e de baixo custo. Dessa forma pode-se observar a importância das etapas de ativação química e física, pois promovem uma melhor e mais rápida adsorção do corante, visto que, após passar por estes processos ocorre a decomposição dos componentes presentes em biomassa vegetais como a lignina, celulose e hemicelulose, promovendo o desenvolvimento da estrutura básica do carvão e com elevada área superficial (SANTOS et al, 2014; AMRAN; ZAINI, 2021).

De acordo com a literatura, quanto maior a temperatura do tratamento físico, maior será a quantidade de poros desenvolvidos e, com isso, maior a área da superfície. No entanto, de acordo com estudos, pode-se afirmar que temperaturas acima de 450°C, podem degradar e diminuir o desempenho do carvão. Esse fato pode ser explicado devido a grandes volumes de cinzas que bloqueiam os poros do carvão ativado e, conseqüentemente, dificultam o processo de adsorção (IBERAHIM et al., 2022; TOMCZYK et al., 2020).

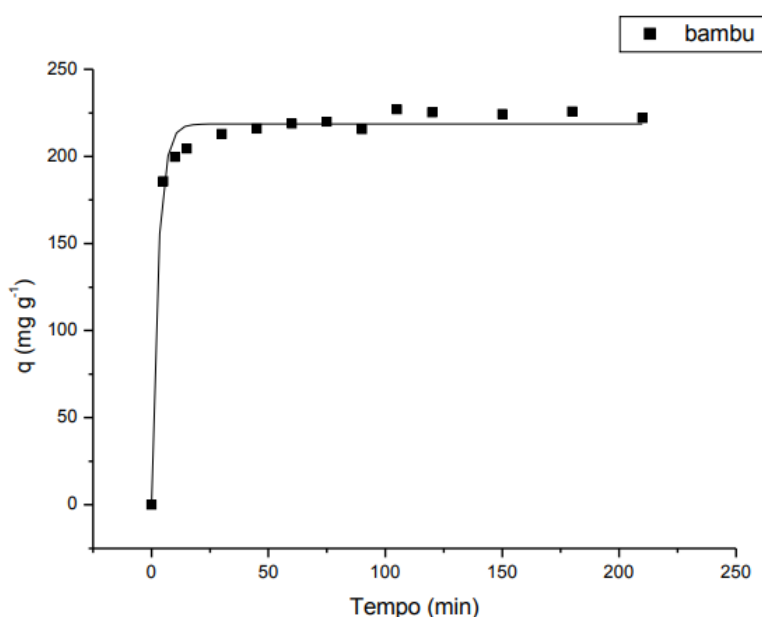
Os grupos funcionais presentes na superfície do carvão ativado são influenciados pelo modo de preparo da matéria prima. As propriedades ácidas são causadas pela existência de carboxilas, lactona e fenóis, tornando o adsorvente mais hidrofílico e diminuindo o pH. Dessa forma pode-se afirmar que os grupos funcionais também estão relacionados com a reatividade e as propriedades de adsorção do carvão (SATO et al., 2020).

De acordo com Drumond&Wiedman (2017) as espécies de bambu são firmes e flexíveis, além de possuírem internamente nos nós elevada presença de sílica, sendo considerado um material que apresenta

elevada área superficial específica (100 a $1000 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$) e textura porosa com diâmetros de poro variando entre $0,7 \text{ nm}$ e 3 nm . Essas características agregam e promovem eficiência no processo de adsorção mesmo utilizando o bambu na forma in natura.

Naidek, Viante e Almeida (2010) estudaram o uso de carvões ativados provenientes de 12 matérias primas (Massaranduba, Dendê, Pinus, Bambu, Babaçu, China Tipo 1, China Tipo 2, MB, LFP, Eucalipto, Caroco de pêssego e Bracatinga) para a remoção de azul de metileno. O bambu apresentou melhores resultados no teste de adsorção (Figura 4), mostrando que o tempo de equilíbrio foi atingido com aproximadamente 1 hora e que esse bioadsorvente foi capaz de remover $208,57 \text{ mg.g}^{-1}$, ou seja, $41,7\%$ de remoção de azul de metileno.

Figura 4 – Teste de adsorção para remoção do corante.



Fonte: Naidek, Viante e Almdeira (2010).

Diante do levantamento exposto, é possível concluir que o aproveitamento de biomassas de baixo custo apresentam características para serem utilizadas como adsorventes alternativos para a remoção de diversos poluentes. O bambu recebe destaque, visto que possui a diversas características interessantes na produção de um carvão vegetal, como rápido crescimento, elevada quantidade e boa distribuição de poros ao longo de superfície do bioadsorvente, além de ser economicamente viável.

4 CONCLUSÃO

De acordo com a literatura, tratamentos químicos e físicos aumentam a quantidade de poros desenvolvidos e promovem maior retenção de contaminantes em águas. Todavia, é necessário estar atento à temperatura de pirólise utilizada, já que as cinzas podem bloquear os poros do material.

Observa-se também a necessidade e importância da realização de ajustes de diversos modelos cinéticos e isotérmicos para entender como o processo de adsorção está se desenvolvendo, além da utilização da regressão não linear para a obtenção dos dados.

Levando em consideração a simplicidade, eficácia e funcionamento, pode-se concluir que o processo de adsorção pode ser utilizado para o tratamento de águas contaminadas, pois apresenta diversas vantagens,

como operação rápida, alta seletividade e baixo custo. Isto pois, levando-se em consideração os diferentes tipos adsorvatos utilizados nos trabalhos apresentados, além da possibilidade de utilizar o biocarvão sem a necessidade de ativação.

É possível concluir que a utilização do bambu como adsorvente apresenta características para serem utilizadas como adsorventes alternativos para a remoção de diversos poluentes, visto que a técnica de adsorção é considerada uma opção econômica e viável para atenuar impactos nos ecossistemas, especialmente os aquáticos.

CONFLITOS DE INTERESSE

Não há conflitos de interesse.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENIYI, A. G.; OTOIKHIAN, K. S.; IGHALO, J. O.; MOHAMMED, I. A. Pyrolysis of different fruit peel waste via a thermodynamic model. **ABUAD Journal of Engineering Research and Development (AJERD)**, v. 2, p. 16-24, 2019. ISSN: 2645-2685.

AMRAN, F.; ZAINI, M. A. A. Valorization of Cauarina empty fruit-based activated carbons for dyes removal-activators, isotherm, kinetics and thermodynamics. **Surfaces and Interfaces**, v. 25, p. 1-17, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2021.101277>.

CHEN, F.; ZHU, J.; YANG, Y.; WANG, L. Assessing environmental impact of textile production with water alkalization footprint. **Science of The Total Environment**, v. 719, p. 1-3, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137522>.

COSTA, A. G.; BORGES, A. M.; SOTO-BLANCO, B. Metais tóxicos e seus efeitos sobre a reprodução dos animais. Revisão. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**. Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 108-124, jan./mar. 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/54993>.

COSTA, P. et al. **Exposição crônica ao chumbo sobre a resposta contrátil a fenilefrina e pressão arterial em ratos**. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 9, n. 2, 3 mar. 2020. Disponível em: <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/97968>.

DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. Rio de Janeiro: ICH - Instituto Ciência Hoje, p. 659, 2017.

FREITAS VAN OPSTAL NASCIMENTO, T.; GASPAR GONZALEZ, F. Impactos do manganês na saúde pública. Revista Intertox de Toxicologia, **Risco Ambiental e Sociedade**, v. 11, n. 3, 2018. Disponível em: <http://www.intertox.com.br>. Acesso em: 20 mai. de 2021.

IBERAHIM, N.; SETHUPATHI, S.; BASHIR, M. J. K.; KANTHASAMY, R.; AHMAD, T. Evaluation of oil palm fiber biochar and activated biochar for sulphur dioxide adsorption. **Science of The Total Environment**, v. 805, p. 1-15, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150421>.

LIMA, É. C.; ADEBAYO, M. A., MACHADO, F. M. Kinetic and Equilibrium Models of Adsorption. In: Bergmann, C., Machado, F. Carbon Nanomaterials as Adsorbents for Environmental and Biological Applications. **Carbon Nanostructures**. Springer, Cham, p. 37, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-18875-1_3.

MORAIS, R. M. et al. Produção e desempenho de carvão ativado fisicamente a partir de

Bambusavulgaris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, 2019. <https://doi.org/10.4336/2019.pfb.39e201801668>.

MULLER, L. C. Adsorção do azul de metileno em serragem de *Pinus elliottii* (pinus) e *Drepanostachyum falcatum* (bambu). **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 24, n. 04, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019160344>.

NAIDEK, N.; VIANTE, M. F.; ALMEIDA, A. P. **Estudo de carvões ativados provenientes de diversas fontes de matéria prima: estudo cinético da adsorção de azul de metileno**. Anais do XIX EAIC (XIX Encontro Anual de Iniciação Científica), Unicentro, Guarapuava, 2010. Disponível em: <https://anais.unicentro.br/xixeaic/pdf/1663.pdf>. Acesso em: 08 jan. de 2023.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A. D.; VIDAL, C. B.; MELO, D. D. Q.; RAULINO, G. S. C. (2014). Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. **Imprensa Universitária**, 256 p.; 2020.

OLIVEIRA, D. **Toxicidade multigeracional do ipronil para *Folsomia candida* em solo natural tropical**. 2017. 65 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, Limeira, SP. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/330871>.

PEDRANGELO, A. C. et al. Potencialidades do material bambu: uma revisão bibliográfica. **Revista Mundi**, v. 5, n. 7, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21575/25254782rmetg2020vol5n71123>.

PERRICH, J. R. **Activated carbon adsorption for wastewater treatment**. CRC PRES, p. 260, 2018.

PIQUET, A. B. M.; MARTELLI, M. C. Bioadsorbents produced from organic waste for dye removal: a review. **Research, Society and Development**, v. 11, p. 1-22, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26506>.

PIQUET, A. B. M.; MARTELLI, M. C. Bioadsorbents produced from organic waste for dye removal: a review. **Research, Society and Development**, v. 11, p. 1-22, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26506>.

SANTOS, G. H. F. et al. Aplicação da fibra de bambu in natura e carvão ativado ósseo como adsorvente na remoção de corante azul de metileno. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Floresnópolis, 2015.

SATO, M. K.; LIMA, H. V.; COSTA, A. N.; RODRIGUES, S.; MOONEY, S. J.; CLARKE, M.; PEDROSO, A. J. S.; MAIA, C. M. B. F. Biochar as a sustainable alternative to açai waste disposal in Amazon, Brazil. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 139, p. 1-11, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.04.001>.

SILVA, Y. L. S. **Produção de carvão vegetal e ativação térmica a partir de resíduos de bambu (*Bambusavulgaris*) para adsorção de Cobre (II)**. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Campus Universitário de Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2019. Disponível em: <http://bdm.ufpa.br/jspui/handle/prefix/1565>.

TOMCZYK, A.; SOKOLOWSKA, Z.; BOGUTA, P. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 19, p. 191-215, 2020.