

II-379 - UTILIZAÇÃO DO CAROÇO DO AÇAÍ NA PRODUÇÃO DE CARVÕES PARA ADSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS

Crisleide Maria da Silva Nascimento⁽¹⁾

Doutoranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).Cursando Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho (UPE-POLI),Mestre em Engenharia Civil, na área de Geotecnia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE);Graduada em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE); Técnica em Saneamento Ambiental (CEFET-PE) e em Segurança do Trabalho (EASD).Atualmente docente na Secretaria de educação de PE.

Bruna Figueiredo do Nascimento

Engenheira Química pela Universidade Federal da Paraíba Escola de Engenharia Kennedy. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco. Doutoranda em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco.

Dayse Maria Sá da Silva

Doutoranda em Engenharia Química (UFPE), Mestre em Engenharia Química (UFPE), Engenheira de Segurança no Trabalho pela Universidade Cândido Mendes (UCAM), Especialista em Gestão de Recursos Humanos pela Faculdade Internacional Signorelli (FIS), Especialista em Alimentos de Origem Animal (UEPA), Graduada em Engenharia Química (UFPA) e CRQ (VI região).

Emerson Freitas Jaguaribe

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela UFPB (1970), graduação em Licenciatura Em Matemática pela UFPB (1970), mestrado em Engenharia Mecânica pela PUC do Rio de Janeiro (1972), doutorado em Doctorat Déjat pela Université Paul Cézanne Aix Marseille III (1978), pós-doutorado pela University of Michigan(1982), pós-doutorado pela Yokohama National University(1986) e pós-doutorado pela Ecole Des Mines de Nancy(1991). Atualmente é professor titular da Universidade Federal da Paraíba.

Maurício Alves da Motta Sobrinho

Engenheiro Químico pela Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP); Mestrado em Engenharia Química pela UFPC Campus 2 (atual UFCG campus 1). Doutorado em Engenharia de Processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine (França); Professor Associado da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Pesquisador 1D CNPq.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Recife, PE, Brasil, CEP: 50670-901 – e-mail: figueiredoeq@gmail.com

RESUMO

Neste trabalho foram preparados carvões utilizando como material precursor resíduos do processo de gaseificação do caroço de açaí e como agente ativado, o hidróxido de sódio. As características químicas e textuais e a aplicação na remoção do corante básico azul de metileno foram avaliadas e comparadas com outros tipos de carvões. Os carvões obtidos foram caracterizados através da determinação da área superficial e volume de poros (métodos BET e BJH), microscopia eletrônica de varredura (MEV), análises termogravimétricas (TGA), difrações de raios-x (DRX), espectroscopia na região infravermelha (FT-IR) e ponto de carga zero (PCZ). O equilíbrio de remoção do corante foi expresso em termos de isoterma de adsorção. A área superficial obtida para os carvões com e sem ativação foi de 491 m².g⁻¹ e 1,9 m².g⁻¹, respectivamente. Nas imagens de MEV pode-se observar a estrutura porosa bem desenvolvida do carvão ativado quimicamente o que corrobora com a elevada área superficial obtida. O difratogramas de raios-X apresentou características de estruturas predominantemente amorfas. Pela análise de FT-IR, foi observado que ocorreu deposição de oxigênio na superfície do carvão ativado. O PCZ obtido para o endocarpo do açaí foi 6,77, enquanto que para o carvão ativado de açaí foi igual a 9,76. De acordo com o estudo de equilíbrio, o modelo de Langmuir-Freundlich foi o que se ajustou aos dados experimentais obtidos, e a capacidade de adsorção máxima passou de 22 para 101 mg.g⁻¹ após a ativação. Assim, através dos estudos de adsorção realizados, é possível concluir que o carvão do caroço do açaí ativado, tem potencial para ser utilizado como material adsorvente.

PALAVRAS-CHAVE: Carvão de Açaí, Ativação Química, Gaseificador, Processo Adsorativo.

INTRODUÇÃO

Os carvões ativados têm sido reconhecidos mundialmente como o adsorvente mais antigo, amplamente utilizado nas indústrias de tratamento de água e esgoto. Seu uso extensivo como adsorvente envolve a remoção de sabor indesejável, odor, cor e outras impurezas orgânicas e inorgânicas de efluentes industriais e municipais (DANISH, AHMAD, 2018).

Apesar de sua vasta aplicação industrial, um grande desafio encontrado no mercado de produção de carvão ativado é a identificação de novos precursores que sejam economicamente viável, acessível e disponível em quantidade abundante, para que assim apresentem um potencial para benefícios econômicos significativos (RAHMAN et al., 2017).

De acordo com Duan et al. (2012), uma gama de materiais com características lignocelulósicos tais como espigas, sabugos, bagaço, sementes, cascas e caroços de frutas, foram bastante utilizados para a produção de carvões ativados. Conforme Marrakchi et al. (2017), esses resíduos apresentam grande quantidade de carbono e baixo conteúdo de inorgânicos em sua composição, o que os tornam viável em questões de rendimento.

Além de produzir um material industrialmente útil, a conversão desses resíduos em carvões ativados pode resolver questões ambientais, como o acúmulo de resíduos agrícolas, que causa poluição do ar e da água durante o processo de degradação natural (DANISH, AHMAD, 2018).

As características texturais e químicas desses materiais estão diretamente relacionadas ao precursor selecionado e as condições utilizadas durante os procedimentos de síntese. Os procedimentos de síntese de AC consistem basicamente em uma etapa de carbonização do material precursor, seguido por uma etapa de ativação física ou química que promove porosidade do material carbonizado (BEDIN et al., 2015).

Dado o interesse em desenvolver novas metodologias e procedimentos de síntese de materiais carbonáceos, a gaseificação surgiu como uma via alternativa para substituir a carbonização tradicional. Os processos de gaseificação consistem na conversão termoquímica da biomassa em gases energéticos, conhecidos como gás de síntese (CH_4 , H_2 e CO_2), com a ajuda de agentes gaseificadores (ar/oxigênio) em altas temperaturas (KELM et al., 2019).

Além do produto gasoso, também são gerados como subprodutos, dois resíduos sólidos valiosos, o alcatrão e o carvão/biocarvão, que podem ser utilizados para diferentes fins, inclusive no tratamento de águas e efluentes (SHAHAZ et al., 2017).

Todavia, o carvão formado pode apresentar porosidade inicial relativamente baixa, necessitando de ativação para desenvolver as características específicas de carvão ativado. O processo de ativação ajuda a desenvolver a porosidade, através da desidratação e degradação da estrutura da biomassa, especialmente quando o agente de ativação é altamente alcalino, como, por exemplo, o hidróxido de sódio (GONZÁLEZ-GARCÍA, 2018).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estudar, caracterizar e aplicar dois carvões ativados obtidos a partir de resíduos resultantes do processo de gaseificação do caroço de açaí. Um dos carvões foi ativado com hidróxido de sódio e o outro estudado sem ativação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Produção do Adsorvente

Os caroços de açaí utilizados foram coletados em outubro de 2017 na Feira Bandeira Branca, no município de Belém, estado do Pará. O material foi submetido a um processo de secagem natural a partir de exposição ao sol por um período de 4 dias, com o intuito de remoção da umidade. O material foi transportado até o Laboratório de Carvão Ativado da UFPB (João Pessoa – PB) para se dar início ao processo de produção do carvão. A produção consistiu em dois tipos de carvões, sendo um deles carbonizado em um gaseificador e o outro carbonizado e ativado fisicamente em forno elétrico.

Produção no Gaseificador:

O material foi introduzido em um gaseificador de leito fixo (Figura 1) concorrente, que possui topo aberto para alimentação. A massa de material adicionado desce por gravidade enquanto o material vai sendo consumido. Foi inserido no total 10,714 kg de Biomassa e a partir daí obteve-se 0,976 Kg, apresentando um rendimento de 9,10%. O material passou pelo processo de maceração e classificação em peneira de 100 Mesh.

Figura 1: Foto do gaseificador de leito fixo.



Produção do carvão ativado quimicamente

Parte do material produzido no gaseificador foi submetido à ativação química a partir da adição de NaOH, na proporção de 1:3, após macerada em um almofariz de porcelana, a mistura foi submetida um aquecimento de 400°C por um período de 1 hora disposta em mufla (ZENZIMAQ, 2000-C), passado esse período a temperatura na mufla foi elevada até atingir 700°C permanecendo por igual período. Finalizado o processo de aquecimento, aguardou-se até que o material estivesse totalmente frio (temperatura ambiente) submetendo-o a um processo de lavagem com água destilada, a solução obtida foi disposta em mesa agitadora (Quimis, Q225M) por um período de 20 minutos e agitação de 210 rpm. Feito isso, a solução passou por um filtro qualitativo de filtração lenta e disposto em estufa a 105°C por um período de 12h. Ao ser retirado da estufa o material seco passou pelo processo de maceração e classificação em peneira de 100 Mesh.

Caracterização dos Carvões

Os adsorventes foram caracterizados através das técnicas de determinação da área superficial e volume de poros (métodos BET e BJH), espectroscopia na região infravermelho (FT-IR), microscopia eletrônica de varredura (MEV), difração de raios-X (DRX), análise termogravimétrica (TGA) e ponto de carga zero (PCZ).

Adsorção do Corante Azul de Metileno

O corante usado nos ensaios adsorptivos foi o azul de metileno com concentração de 50 mg.L⁻¹. O pH das soluções foi ajustado com NaOH 0,1 M e H₂SO₄ 0,1 M. Após o processo de adsorção a fase líquida foi separada com filtro hidrofóbico de 0,45 µm. A concentração das soluções foram quantificadas em espectrofotômetro UV-VIS da marca Agilent Technologies, modelo Cary 60. O percentual de remoção de cor das soluções foi calculado de acordo com a Equação 1.

$$\%Rem = \frac{(Ca_0 - Ca)}{Ca_0} \times 100\% \quad (1)$$

na qual a %Rem é o Percentual de remoção; o Ca₀ é a Concentração inicial do corante (mg.L⁻¹); e a Ca Concentração final do corante (mg. L⁻¹).

A quantidade de corante adsorvido por unidade de massa do adsorvente foi calculada usando-se a Equação 2:

$$q = \frac{(Ca_0 - Ca)}{m} \times V \quad (2)$$

onde q é a capacidade de adsorção (mg. g⁻¹) do adsorvente; V é o volume da solução (L) em contato com o adsorvente; e m é a massa do adsorvente (g) em contato com a solução.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise microporosimétrica foi possível determinar a área superficial e o volume total de poros do carvão de açaí (CV) e do carvão ativado de açaí com NaOH (CA). A área superficial da amostra de carvão de açaí obtida foi muito baixa, apresentando um valor de 1,942 m².g⁻¹, e após o processo de ativação passou a para 491,9 m².g⁻¹, enquanto que o volume de poros aumentou de 0,003 cm³.g⁻¹ para 0,315 cm³.g⁻¹. Esses resultados indicam que ocorreu o desenvolvimento da estrutura porosa após a ativação.

Conforme Gonzáles-Garcia (2018), o agente químico ativador age abrindo os poros que se encontravam inacessíveis durante o processo de carbonização, formando novos poros e aumentando os poros já existentes, facilitando a eliminação das impurezas presentes no material. Esse tratamento químico, também pode ter solubilizado constituintes do carvão, aumentando a sua porosidade e área superficial, como poderá ser observado nas imagens de microscopia eletrônica de varredura (Figura 3).

A Tabela 1 resume a comparação da área superficial BET e do volume total de poros de diferentes adsorventes utilizando diferentes tipos de matéria-prima e agente ativados. Entretanto, deve-se levar em consideração que cada adsorvente pode apresentar resultados diferentes, em virtude da diversidade estrutural de cada biomassa precursora e do tipo de tratamento químico empregado.

Tabela 1: Características físicas da superfície dos adsorventes.

MATERIAL	ATIVACÃO QUÍMICA	S _{BET} (m ² .g ⁻¹)	VOLUME DE POROS (cm ³ .g ⁻¹)	REFERÊNCIA
Casca de nozes	H ₃ PO ₄	2636	1,53	Kumar e Jena (2016)
Fibra de carbono ativado com algodão	H ₃ PO ₄	1370	0,98	Duan et al. (2017)
Casca de coco	NaOH	783	0,378	Cazetta et al. (211)
Flocos de quitosana	NaOH	318	0,255	Marrakchi et al. (2017)
Lascas de madeirag	ZnCl ₂	962	0,362	Danish et al. (2018)
Casca de arroz	NaOH	639	0,46	Lin et al. (2013)
Caule de milho seco	KOH	677	0,288	Zubrik et al. (2016)
Bagaço de cana-de-açúcar	KOH	400	0,101	Jain e Tripathi (2015)
Carvão ativado de açaí	NaOH	491,9	0,315	presente estudo
Carvão de açaí	-----	1,9	0,003	presente estudo

A partir dos dados da Tabela 1, é possível observar que a área superficial obtida no carvão ativado com NaOH é inferior as demais citadas. Porém o processo de ativação mostrou-se eficaz, uma vez que a área superficial BET aumentou consideravelmente em relação ao seu precursor. Acredita-se que carvões que apresentam maiores áreas superficiais tenham um melhor desempenho em relação à adsorção (MUNIANDY et al., 2014). Todavia, embora desempenhe papel de fundamental importância, a área superficial representa apenas uma das variáveis que influenciam nos processos adsorção.

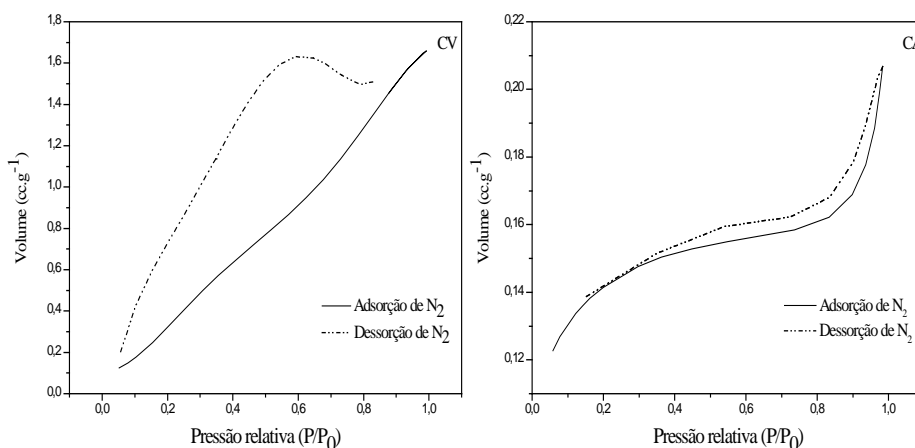


Figura 2: Isotermas de adsorção e dessorção de nitrogênio baseado no método de BET para o carvão vegetal (CV) e o carvão ativado (CA).

De acordo com as imagens do MEV (Figura 3), após o processo de ativação ocorreu a formação de poros visíveis na superfície do adsorvente, com cavidades de tamanhos e formas diferentes. Isso ocorre devido à ação do agente ativador que ao ser inserido na estrutura do carbono causa sua ruptura e consequente formação e abertura de poros. A criação de uma estrutura porosa após ativação com NaOH também foi observada Hassan e Youssef (2014) utilizando como matéria-prima a casca de arroz. A partir das imagens de MEV também foi observado que os adsorventes são constituídos de partículas de diferentes tamanhos e formas apresentando uma superfície irregular com estrutura heterogênea.

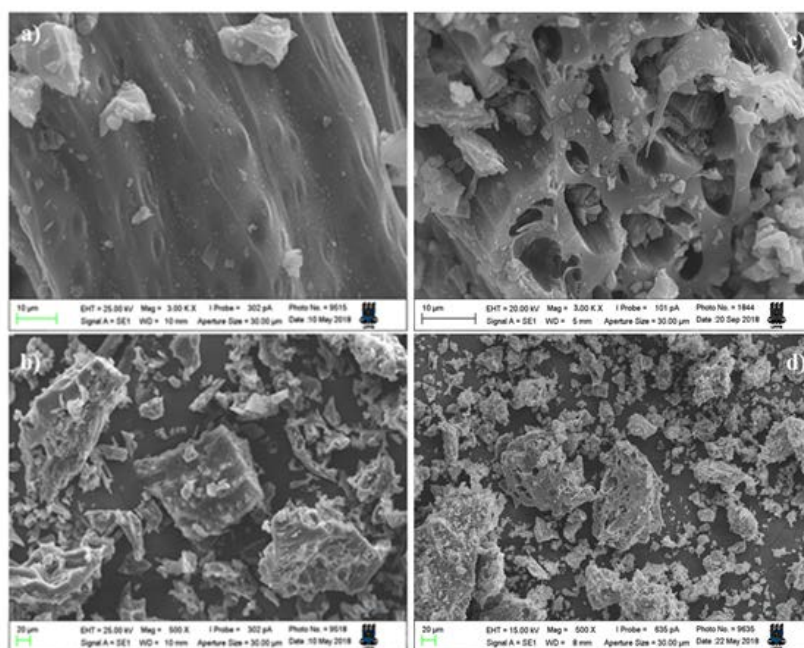


Figura 3: Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para as amostras de carvão sem ativação (a, b) e com ativação (c, d).

A perda de massa no carvão não ativado (Figura 3) a partir de 50°C até aproximadamente 100°C foi devido à perda de água do material. Entre 100°C até aproximadamente 250°C a perda de massa fica linear. A partir de 250°C a segunda perda de massa é registrada, correspondendo à degradação e volatilização dos componentes dos materiais carbonáceos. O material apresentou uma relativa estabilidade térmica (JAIN, TRIPATHI, 2015).

Assim como o carvão não ativado (Figura 3), houve uma perda de massa mais acentuada entre 50°C até aproximadamente 100°C devido à perda de água do material, possivelmente devido a característica higroscópica do NaOH, que pode ter resultado em um acúmulo de água na superfície do material. Logo depois não é possível observar perda de massa significativa, pois, o processo de ativação química é realizado em alta temperatura (700°C), acarretando na degradação e volatilização de parte dos componentes carbonáceos do adsorvente, durante ativação.

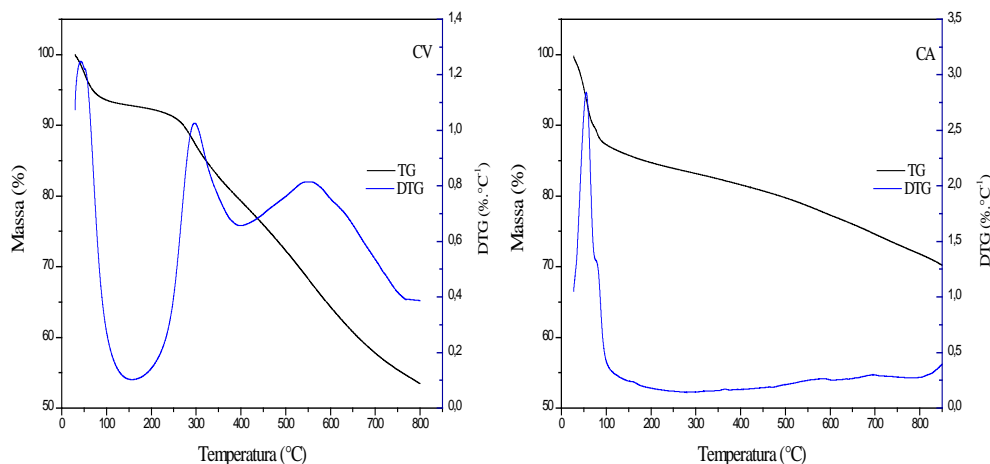


Figura 4: Curvas de TGA e DTG para as amostras de carvão de açaí (CV) e carvão ativado de açaí (CA).

Analisando os espectros de infravermelho, Figura 5 (a), não foi possível observar mudanças consideráveis nos grupos de superfície dos adsorventes, ocorrendo apenas o desaparecimento de alguns picos, indicando que as ligações químicas foram quebradas durante o processo de ativação com NaOH e o aumento na intensidade de outros picos, como o em 1010 cm^{-1} , atribuído às vibrações do alongamento C-O característico de fenóis, éteres, ácidos e álcoois, indicando que átomos de oxigênio foram depositados na superfície do carvão (GAO et al., 2016; MUNIANDY *et al.*, 2014).

A Figura 5 (b) apresenta os difratogramas de raios-X do carvão de açaí antes (CV) e após a ativação (CA). Com base na disposição dos picos é possível observar que após o processo de ativação ocorreu uma pronunciada redução no espaçamento e na intensidade dos mesmos, provavelmente em decorrência das reações químicas ocorridas durante a ativação. No difratograma CA é possível observar também a formação de alguns picos mais agudos, que podem ser atribuídos a vestígios do ativante que não foram totalmente removidos. No entanto, os difratogramas apresentados apresentam características de carbono amorfo. Resultados semelhantes foram observados por Muniandy et al. (2014).

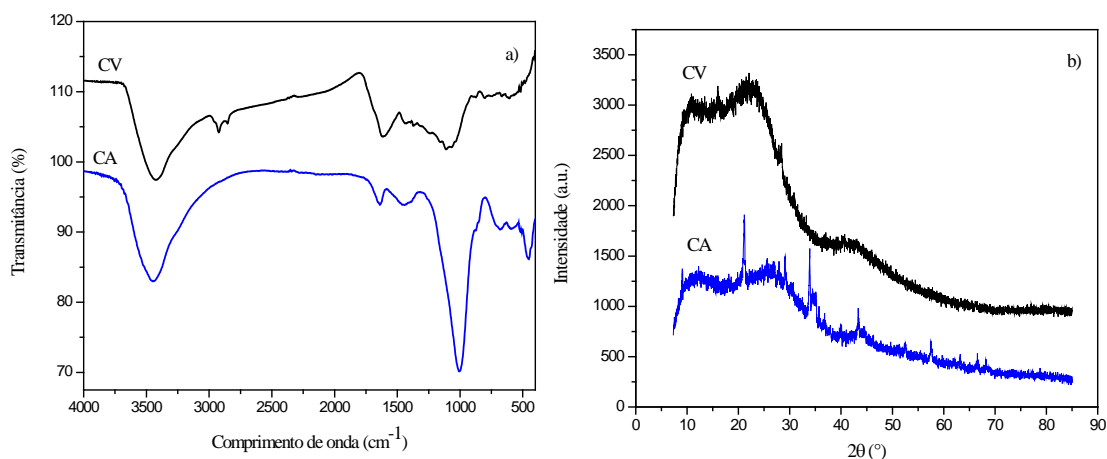


Figura 5: Espectros de infravermelho (a) e difratograma de raios-X (b) do carvão de açaí antes (CV) e após a ativação (CA).

A caracterização do adsorvente quanto ao ponto de carga zero foi utilizada para determinar o valor do pH da solução que indique a propensão da superfície em ser carregada positivamente ou negativamente. O PCZ obtido para o caroço do açaí foi 6,77, enquanto que para o carvão ativado de açaí foi igual a 9,76. Acima do pH inicial de 10, o pH final é maior que do PCZ tornando a superfície do carvão negativa, favorecendo a adsorção.

Tal configuração é decorrente do caráter catiônico da molécula de azul de metileno. Segundo Al-Ghouti et al. (2003) a capacidade de adsorção de corantes catiônicos aumenta com o pH. Isso porque em pH ácido há presença de íons H^+ em abundância, os quais competem com o corante pelos sítios de adsorção. Com o aumento do pH do sistema, a quantidade de sítios carregados positivamente diminuem, enquanto os sítios carregados negativamente aumentam (BARROSO; LOPES; CUNHA, 2017).

A Figura 6 (esquerda) apresenta a variação do percentual de remoção de cor da solução e da capacidade de adsorção (q) em função da massa de carvão usada. Observando o gráfico, é possível determinar que a remoção próxima a 100% foi observada para massas usadas acima de 0,50 g. Dessa forma, a massa determinada para execução dos ensaios adsorptivos foi escolhida a partir da interseção entre o percentual de remoção e a capacidade de adsorção, a qual é aproximadamente 0,05 g a mesma massa foi utilizada para o carvão ativado.

Sobre a concentração do adsorvente, Ghosh e Bandyopadhyay (2017) observaram em estudo de adsorção de azul de metileno por carvão de folhas de bambu que até certo ponto o aumento da dose de adsorvente aumenta a remoção do corante, no entanto, acima de certas doses pode haver a superlotação de partículas de adsorvente resultando em perda de sítios para adsorção.

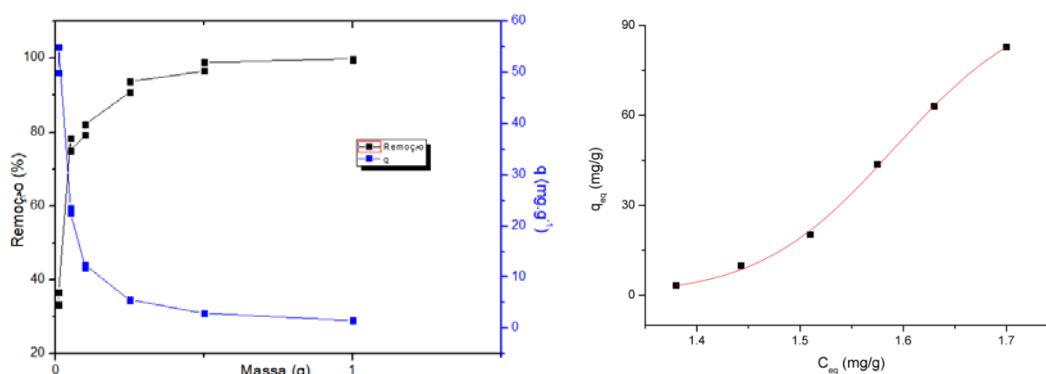


Figura 6: Efeito da massa de carvão do açaí na capacidade de adsorção (esquerda) e curva de equilíbrio de adsorção do carvão ativado de açaí (direita).

Os modelos de isotermas de adsorção são importantes para a descrição das interações entre o adsorvato e o adsorvente quando o processo de adsorção atinge o estado de equilíbrio. O conhecimento da natureza dessa interação é essencial para o uso mais eficiente do adsorvente (HASSAN et al., 2014).

O modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais de adsorção do corante azul de metileno foi o modelo de Langmuir-Freundlich, o gráfico de q_e versus C_e para esse estudo está representada na Figura 6 (direita) e a capacidade de adsorção máxima passou de 22 para 101 $mg \cdot g^{-1}$ ao utilizar carvão de açaí e carvão ativado de açaí, respectivamente. Este resultado sugeriu que a adsorção pode ocorrer tanto na superfície heterogênea quanto na homogênea do carvão ativado estudado.

CONCLUSÃO

O material apresentou-se como um sólido com estrutura de macroporos e mesoporos, após a ativação com NaOH ocorreu o aumento da área superficial específica e do volume de poros, com o incremento do número de sítios ativos. Nas imagens de MEV pode-se observar a estrutura porosa bem desenvolvida do carvão ativado quimicamente o que corrobora com a elevada área superficial obtida. A remoção máxima de corante foi observada para massas acima de 0,5 g. O modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais de adsorção do corante azul de metileno foi o modelo de Langmuir-Freundlich e capacidade de adsorção máxima foi de 22 para 101 $mg \cdot g^{-1}$.

Portanto, a inserção do resíduo de gaseificação do caroço de açaí na produção de carvão ativado torna-se econômica e ambientalmente vantajosa, uma vez que esse subproduto é apresentado como uma alternativa de baixo custo para a indústria de carvão ativado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL-GHOUTI M. A.; KHRAISHEH M. A. M.; ALLEN S. J.; AHMAD M. N. *The removal of dyes from textile wastewater: a study of the physical characteristics and adsorption mechanisms of diatomaceous earth*. *Journal of Environ Manage*, v. 69, p. 229–238, nov. 2003.
2. BARROSO, J. A. D., LOPES, L. R., CUNHA, R. N. Estudo da adsorção do corante azul de metileno utilizando a casca do tamarindo como bioissorvente. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA 2017. Anais. São Carlos, SP, 2017.
3. BEDIN, K. C., MARTINS, A. C., CAZETTA, A. L. PEZOTI, O., ALEMIDA, V. C. *KOH-activated carbon prepared from sucrose spherical carbon: adsorption equilibrium, kinetic and thermodynamic studies for Methylene Blue removal* *Chemical Engineering Journal*, v. 286, p. 476-484, feb. 2015.
4. CAZETTA, A. L., VARGAS, A. M. M.; NOGAMI, E. M., KUNITA, M. H.; GUILHERME, M. R., MARTINS, A. C., SILVA, T. L., MORAES, J. C. G.; ALMEIDA, V. C. *NaOH-activated carbon of high surface area produced from coconut shell: Kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption*. *Chemical Engineering Journal*, v. 174, p. 117-125, aug. 2011.
5. DANISH, M., AHMAD, T. *A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 87, p. 1-21, feb. 2018.
6. DUAN, X., SRINIVASAKANNAN, C., WANG, X., WANG, F., LIU, X. *Synthesis of activated carbon fibers from cotton by microwave induced H₃PO₄ activation*. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v. 70, p. 374–381, jan. 2017.
7. EL-SAYED, G. O.; YEHIA, M. M.; ASAAD, A. A. *Assessment of activated carbon prepared from corn cob by chemical activation with phosphoric acid*. *Water Resources and Industry*, v. 8, p. 66-75, oct. 2014.
8. GAO, Y., XU, S., YUE, Q., WU, Y., GAO, B. *Chemical preparation of crab shell-based activated carbon with superior adsorption performance for dye removal from wastewater*. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v. 61, p. 327-335, apr. 2016.
9. GHOSH, S. K., BANDYOPADHYAY, A. *Adsorption of methylene blue onto citric acid treated carbonized bamboo leaves powder: Equilibrium, kinetics, thermodynamics analyses*. *Journal Molecular Liquids*, v. 248, p. 413-424, dec. 2017.
10. GONZÁLEZ-GARCÍA, P. *Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 82, p. 1393-1414, feb. 2018.
11. HASSAN, A. F., YOUSSEF, A. M. *Preparation and characterization of microporous NaOH-activated carbons from hydrofluoric acid leached rice husk and its application for lead (II) adsorption*. *Carbon Letters*, v. 15, p. 57-66, dec. 2014.
12. HASSAN, A.F., ABDEL-MOHSEN, A.M., FOUHA, M.M.G. *Comparative study of calcium alginate, activated carbon, and their composite beads on methylene blue adsorption*. *Carbohydrate Polymers*, v.102, p.192-198, nov. 2014.
13. JAIN, A., TRIPATHI, S. K. *Nano-porous activated carbon from sugarcane waste for supercapacitor application*. *Journal of Energy Storage*, v. 4, p. 121-127, dec. 2015.
14. KELM, M. A. P., Jr. SILVA, M. J., HOLANDA, S. H. B., ARAUJO, C. M. B., ASSIS, R. B. F., FREITAS, E. J., DOS SANTOS, D. R., SOBRINHO, M. A. M. *Removal of azo dye from via adsorption on biochar produced by the gasification of wood wastes*. *Environmental Science and Pollution Research*, p. 1-16, jan. 2019.
15. KUMAR, A., JENA, H. M. *Preparation and characterization of high surface area activated carbon from Fox nut (Euryale ferox) shell by chemical activation with H₃PO₄*. *Results in Physics*, v. 6, p. 651-658, 2016.
16. LIN, L., ZHAI, S., XIAO, Z., SONG, Y., AN, Q., SONG, X. *Dye adsorption of mesoporous activated carbons produced from NaOH-pretreated rice husks*. *Bioresource Technology*, v. 136, p.437-443, mar. 2013.

17. MARRAKCHI, F., AHMED, M.J., KHANDAY, W.A., ASIF, M., HAMEED, B.H. *Mesoporous-activated carbon prepared from chitosan flakes via single-step sodium hydroxide activation for the adsorption of methylene blue. International Journal of Biological Macromolecules*, v.98, p.233-239, jan. 2017.
18. MUNIANDY, L., ADAM, F., MOHAMED, A.R., NG, E. *The synthesis and characterization of high purity mixed microporous/mesoporous activated carbon from rice husk chemical activation with NaOH and KOH. Microporous and Mesoporous Materials*, v.197, p.316-323, jun.2014.
19. RAHMAN, M., PUDASAINEE, D., RAJENDER GUPTA, R. *Review on chemical upgrading of coal: Production processes, potential applications and recent developments. Fuel Processing Technology*, v. 158, p. 35–56, apr. 2017.
20. SHAHBAZ, M., YUSUP, S., INAYAT, A., PATRICK, D. O., AMMAR, M. *The influence of catalysts in biomass steam gasification and catalytic potential of coal bottom ash in biomass steam gasification: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 73, p. 468-476, jun. 2017.
21. THOMMES, M., KANEKO, K., NEIMARK, A. V., OLIVIER, J. P., RODRIGUEZ-REINOSO, F., ROUQUEROL, J., SING, K. S. W. *Physiosorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). Pure Applied Chemistry*, v. 87, p. 1051-1069, jul. 2015.
22. ZUBRIK, A., MATIK, M., HREDZÁK, S., LOVÁS, M., DANKOVÁ, Z., KOVÁCOVÁ, M., BRIANCIN, J. *Preparation of chemically activated carbon from waste biomass by single-stage and two-stage pyrolysis. Journal of Cleaner Production*, v. 143, p. 643-653, dec. 2017.