



AVALIAÇÃO DO CARVÃO DO CAROÇO DE BURITI (*MAURITIA FLEXUOSA*) COMO ADSORVENTE DE CORANTE TÊXTIL: SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E ISOTERMA DE ADSORÇÃO

JOSÉ R. L. CAMPELO^{1*}, MARIA E. F. CARVALHO²,
ADRIA E. G. VILHENA³, SHIRLEY C. C. NASCIMENTO⁴, MARLICE C. MARTELLI⁵

^{1,2,3,4,5}Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Química

³Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Meio Ambiente,

⁵Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química,

*e-mail: joserobertoieqpa@gmail.com

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi a síntese e caracterização do carvão de caroço de buriti visando processos de adsorção com utilização do corante azul de metileno. O carvão foi produzido do caroço de buriti carbonizado em forno mufla à 400°C por 30 minutos e peneirado a 115 mesh (125mm). Tanto o material *in natura* como o carvão foram caracterizados fisicamente por microscopia eletrônica de varredura (MEV). O potencial de carga zero foi realizado por duas metodologias diferentes, ambas com o resultado de 9,30. Os ensaios experimentais de cinco modelos matemáticos de isotermas de adsorção foram realizados entre estes, o modelo de Freundlich foi o que apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,9850. O adsorvente foi desenvolvido, somente com a carbonização do material, sem ativação térmica ou química, com economia de tempo, energia e de reagentes, sendo promissor para utilização no tratamento de efluentes para remoção do corante azul de metileno.

INTRODUÇÃO

O buriti (*Mauritia Flexuosa*, Mart) cresce em palmeiras da região Amazônica, desenvolve-se em solos pobres, ácido e alagados. O número médio de cachos por palmeira é de 8, o que resulta em uma produção média de 200kg de fruto por ano. (Cunha, 2012).

Além do consumo para a alimentação, o óleo do buriti é muito utilizado devido às suas propriedades oxidantes, contudo, não há muito estudo acerca das características do seu caroço.

Os resíduos de biomassa tais como: caroço de açaí, caroço de buriti, casca de coco e casca de castanha-do-Brasil, tornam-se ambientalmente viáveis como uso de alternativas para o tratamento de águas residuárias (Nunes *et al.* 2009).

A biomassa proveniente da agricultura pode ser convertida por conversão

termoquímica em carvão ativado, tornando-a com efetivo uso para aplicações em remoção de corantes, compostos orgânicos e até mesmo metais pesados (Crini, 2006).

Os efluentes provenientes de indústrias de corantes podem colocar em risco todo o sistema aquático a que foi exposto quando não tratados convenientemente ainda, causar acentuada mudança na coloração dos rios, mesmo em baixas concentrações e pequena quantidade, sendo altamente detectáveis a olho nu (Guaratini e Zanoni, 2000).

A remoção de contaminantes utilizando carvão ativado é um método bem conhecido, porém, alternativas mais baratas e eficazes são priorizadas, tendo em vista que o método ainda é considerado de alto custo, o que restringe seu uso.

Os materiais alternativos como subprodutos e resíduos de processos industriais vem sendo cada vez mais estudados como fontes viáveis para problemas ambientais desse

cunho, haja vista a sua alta disponibilidade, acessibilidade, eficiência e a sua alta competitividade em relação às resinas de troca iônica e carvão ativado (Igwe e Abia, 2007).

Assim, o aproveitamento de resíduos orgânicos para síntese de carvão é uma possível alternativa visando a sua aplicação em processos de adsorção com corantes têxteis, como o azul de metileno.

Nos processos de adsorção, podem ser obtidas as isotermas de adsorção que apresentam parâmetros de ajustes de modelos matemáticos que geram informações importantes sobre o mecanismo de adsorção. Os gráficos obtidos pelos ajustes dos modelos representam o equilíbrio entre a concentração do adsorbato na fase líquida (C_e) e a quantidade retida na superfície do sólido. (Nascimento *et al.* 2020).

Segundo Gomes (2015), para encontrar um modelo que mais se adequa aos dados experimentais, o uso de isotermas é um passo essencial. A utilização das isotermas nos processos de adsorção é realizada através da comparação entre os valores encontrados para os coeficientes de determinação (R^2).

Neste contexto, o objetivo desse trabalho é produzir e caracterizar o carvão de buriti visando a sua aplicação como adsorvente de corante têxtil, através do estudo das isotermas de adsorção.

MATERIAIS E MÉTODOS

Síntese do carvão

Os frutos de buriti foram coletados no município de Igarapé-Miri, estado do Pará. Posteriormente foram transportados para o laboratório de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará (UFPA) para o início dos experimentos.

Os frutos foram lavados e despulpados manualmente para a separação da casca, polpa e caroço. O caroço foi então seco em estufa de circulação de ar a 60°C por 24 horas, em seguida moído em moinho de martelo. O material moído foi seco na estufa por 24h.

A carbonização do caroço ocorreu em forno mufla a 400°C durante 30 minutos.

Inicialmente, três cadinhos de porcelana foram preenchidos com o caroço de buriti

moído. Os cadinhos foram então colocados no forno mufla para a carbonização do material.

A seleção granulométrica do carvão produzido foi realizada através do peneiramento com peneira 115 mesh (125mm) da série (Tyler).

Caracterização por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O material *in natura* e o calcinado foram analisados por microscopia eletrônica de varredura (MEV), empregando-se um microscópio eletrônico, marca HITACHI, modelo TM 3000, com uma tensão de 5 a 15KV.

Potencial de carga zero (pH_{PCZ})

A metodologia empregada para a determinação do potencial de carga zero foi baseada no método do “experimento dos 11 pontos” proposto por Regalbuto e Robles (2004). Foram preparadas 11 soluções de pH inicial (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11) e o pH de cada solução foi ajustado, conforme necessário, com ácido clorídrico ou hidróxido de sódio 0,1M.

Para cada solução de 50 mL foram acrescentados 0,5 g de carvão. Os recipientes foram mantidos em banho termostático com movimento orbital a uma temperatura controlada de 25 °C durante 24 horas. Após este período, as soluções foram filtradas em papel filtro qualitativo e os valores do pH final determinados com auxílio de pHmetro de bancada.

O cálculo de pH_{PCZ} foi feito pela metodologia utilizada por Kumar (2015), no qual assume que a determinação de potencial de carga zero é realizada para investigar a carga superficial do carvão. Deste modo, as curvas geradas entre " pH_{final} versus $pH_{inicial}$ ", e o ponto de interação dessas duas curvas mostra o resultado do pH_{PCZ} . Assim, como aplicou-se a metodologia proposta por Bourikas *et al.* (2003) na qual são plotadas as curvas de diferentes (pH variado versus pH final).

Adsorção em Banho Finito (batelada)

O experimento de adsorção foi realizado utilizando um banho termostático, com agitação recíproca (Dubnoff SL-157), em temperatura ambiente e com ajuste de rotação de aproximadamente 36 rpm.

Isotermas de adsorção

O equilíbrio de adsorção é geralmente um requisito essencial para obtenção de informações relevantes sobre o projeto e análise de um processo de separação por adsorção.

As isotermas foram obtidas através de gráficos da relação entre a quantidade de corante adsorvida (q , mg.g⁻¹) e a concentração de corante no equilíbrio (C_e , mg.L⁻¹), sendo que a forma das isotermas, além de fornecer informações sobre a afinidade entre adsorbato e adsorvente, apresenta o comportamento sobre o possível mecanismo de adsorção. Para este estudo foram utilizadas 10 soluções de corante azul de metileno com concentrações de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 mg. L⁻¹, as quais foram preparadas a partir de uma solução mãe de 200 mg.L⁻¹. Para cada solução 0,25 gramas de adsorvente foram adicionados e as misturas foram mantidas sob agitação constante no banho termostático durante 6 horas.

A capacidade de adsorção do adsorvente (q), foi calculada conforme a equação 1, onde identificam-se as concentrações inicial (C_i) e final (C_f) de solução de adsorbato, o volume da solução de adsorbato (V), e a massa de adsorvente (m) (Fungaro; Bruno, 2009).

$$q = \frac{V(C_i - C_f)}{m} \quad (1)$$

Posteriormente, alíquotas filtradas de cada solução foram centrifugadas por 15 minutos e em seguida levadas para a leitura no espectrofotômetro UV/VIS (UV-1800 Shimadzu) para a determinação da absorbância.

Os modelos de isotermas utilizados para estabelecer a correlação entre as curvas de equilíbrio foram os de Langmuir, Freundlich, Liu, Redlich-Peterson e Sips mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Modelos e equações de isotermas analisadas para a curva de equilíbrio.

Modelo	Equação
Langmuir	$q_e = \frac{q_{m\acute{a}x} K_L C_{eq}}{1 + K_L C_{eq}}$
Freundlich	$q_e = k_f C_e^{1/n}$
Liu	$q_e = \frac{q_{m\acute{a}x} (k_g C_e)^{n_L}}{1 + (k_g C_e)^{n_L}}$
Redlich-Peterson	$q_e = \frac{K_{RP} C_e}{1 + a_{RP} C_e^\beta}$
Sips	$q_e = \frac{q_{m\acute{a}xS} (K_S C_e)^{n_S}}{1 + (K_S C_e)^{n_S}}$

Teste qui-quadrado (χ^2) e Coeficiente de determinação (R^2)

O teste *qui-quadrado* (χ^2), mostrado na Equação 2, estabelece o grau de correspondência entre as frequências observadas (x_i) e calculadas (y_i), ou seja, nos mostra se há uma diferença significativa entre os valores observados e calculados (Siegel; Castellan, 2008).

$$\chi^2 = \sum_{i=k}^k \frac{(x_i - y_i)^2}{y_i} \quad (2)$$

O coeficiente de determinação, conhecido por R^2 , é o quadrado do coeficiente de correlação momento-produto de Pearson. Segundo Triola (1999) há uma correlação entre duas variáveis quando uma delas está possivelmente relacionada com a outra de alguma maneira.

O coeficiente de determinação pode representar a proporção da variação da variável dependente que é explicada pela variação da variável independente (Kennedy, 2008). A relação matemática utilizada para o cálculo do coeficiente de determinação é mostrada na Equação 3.

$$R^2 = \frac{(\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))^2}{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características das amostras

A característica da amostra do caroço de buriti moído é apresentada na Figura 1.



Figura 1: Caroço de buriti seco e moído

A Figura 2 mostra o carvão obtido após o tratamento térmico de carbonização.

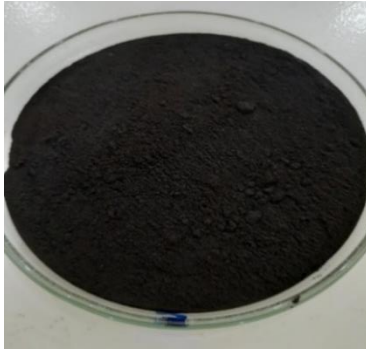


Figura 2: Carvão do caroço de buriti

Microscopia Eletrônica de Varredura

A Figura 3 mostra a micrografia dos caroços *in natura*, ou seja, antes do processo de carbonização. E na Figura 4 está a micrografia da amostra calcinada.

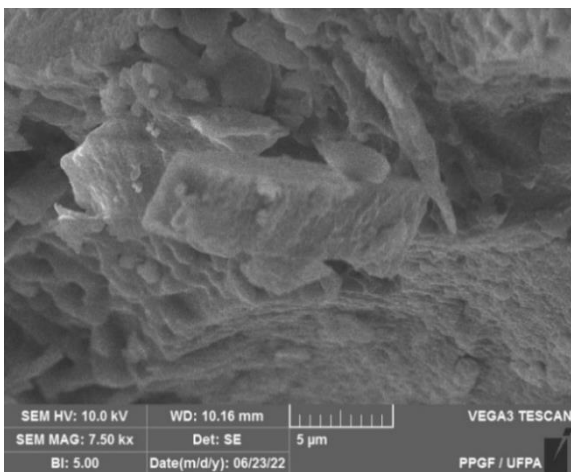


Figura 3: MEV do material *in natura*

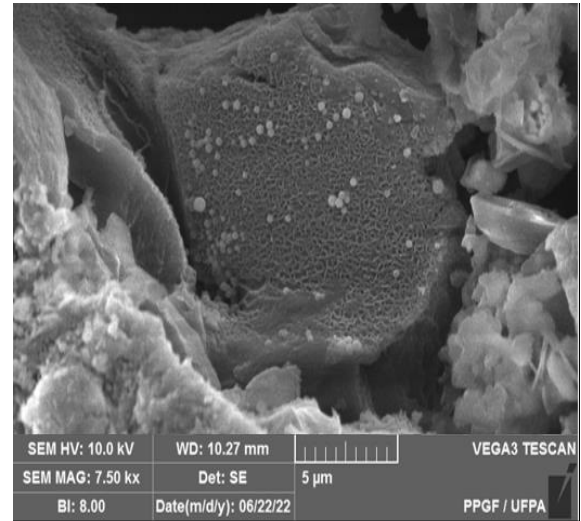


Figura 4: MEV do material calcinado

Alisando as micrografias pode-se observar as características no que diz respeito à morfologia do material. Comparando as imagens percebe-se na micrografia do material calcinado a presença de porosidade na superfície após o processo de carbonização, evidenciando o possível potencial do carvão de caroço de buriti nas aplicações de processos de adsorção, possibilitando interações entre adsorvato/adsorvente, enquanto que, na imagem do material *in natura* observa-se uma superfície irregular, desordenada e heterogênea sem a característica de material poroso.

Potencial de carga zero (pH_{PCZ})

O resultado obtido da determinação do potencial de carga zero da amostra estudada foi de 9,30. A Figura 6 mostra o gráfico obtido a partir das análises do potencial de carga zero pela metodologia de Bourikas (2003).

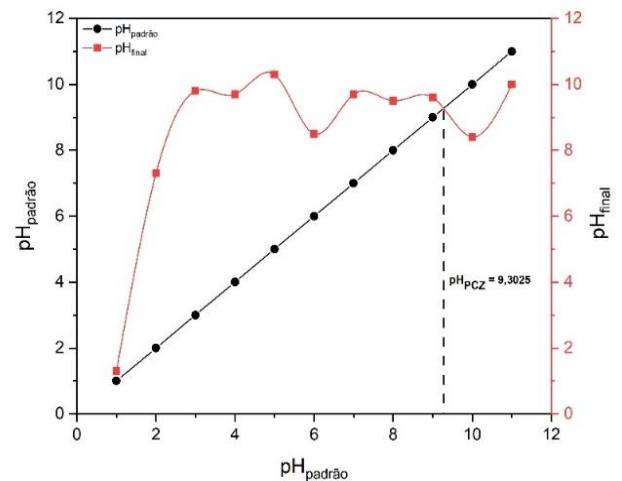


Figura 6: pH_{PCZ} , metodologia Bourikas (2003)

A Figura 7 apresenta o gráfico obtido a partir das análises do potencial de carga zero pela metodologia proposta por Kumar (2015).

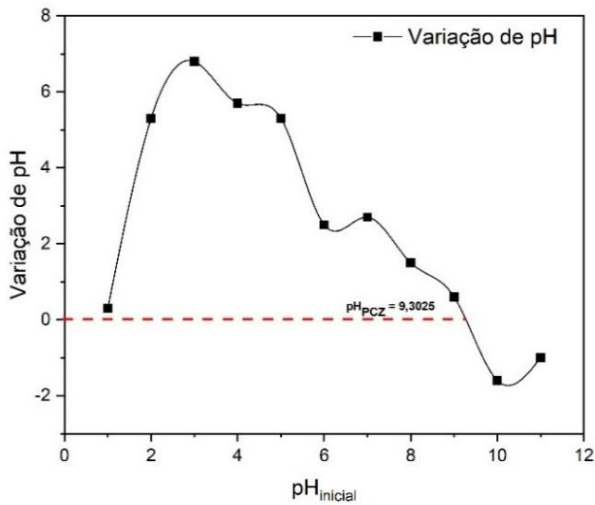


Figura 7: pH_{PCZ} , metodologia Kumar (2015)

O pH_{PCZ} é um parâmetro importante, pois, nos permite prever a carga na superfície do adsorvente em função do pH do meio, indicando assim o valor do pH na superfície do material sólido no qual a carga é nula (Nascimento *et al.*, 2020).

O pH_{PCZ} de 9,30, indica que, para valores de pH acima do potencial de carga zero, o material terá cargas superficiais negativas favorecendo a adsorção do corante azul de metileno que possui caráter catiônico, portanto, o pH de trabalho deve ser maior do que o pH_{PCZ} .

Isoterma de adsorção

Os resultados dos parâmetros dos modelos de isotermas utilizados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros dos modelos analisados.

Modelo	Parâmetro	Resultado	Unidade
Langmuir	$q_{m\acute{a}x}$	38,4882	$mg. g^{-1}$
	k_L	1,2371	$L.mg^{-1}$
	R^2	0,8726	adm.
	χ^2	11,0490	adm.
Freundlich	K_f	20,2466	$mg.g^{-1}$ $(mg.L^{-1})^{-1/n}$
	n	3,0622	adm.
	R^2	0,9850	adm.
	χ^2	0,4899	adm.
Liu	$q_{m\acute{a}x}$	1146,7894	$mg. g^{-1}$
	k_g	0,00000496	$mg. g^{-1}$
	n_L	0,3309	adm.
	R^2	0,9839	adm.
	χ^2	0,6454	adm.
Redlich-Peterson	K_{RP}	197437,2034	$L. g^{-1}$
	a_{RP}	9750,4497	$L^{-1}.mg$
	β	0,6735	adm.
	R^2	0,9849	adm.
	χ^2	0,4907	adm.
Sips	$q_{m\acute{a}xS}$	1251,5799	$mg. g^{-1}$
	K_S	0,00000403	$L. mg^{-1}$
	n_S	0,3304	adm.
	R^2	0,9840	adm.
	χ^2	0,4942	adm.

Os modelos de Langmuir e Freundlich podem ser observados nas Figuras 8 e 9, respectivamente.

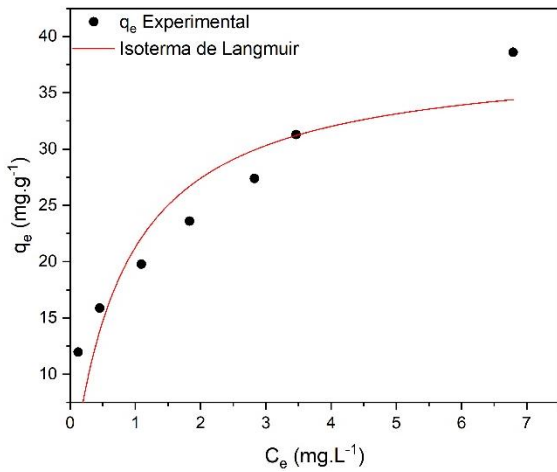


Figura 8: Isoterma de Langmuir

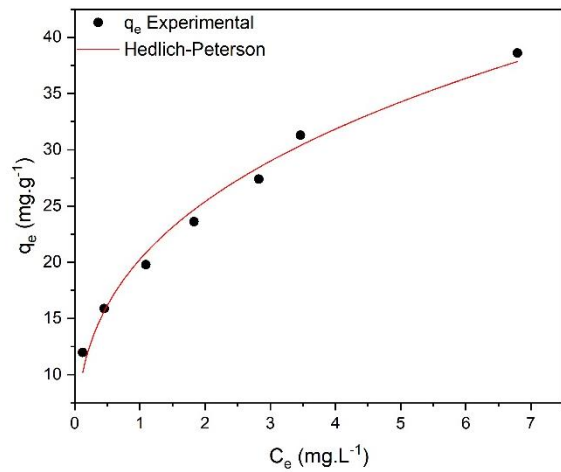


Figura 11: Isoterma de Redlich-Peterson

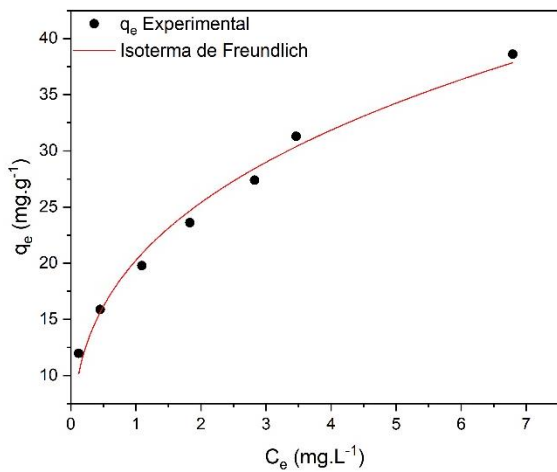


Figura 9: Isoterma de Freundlich

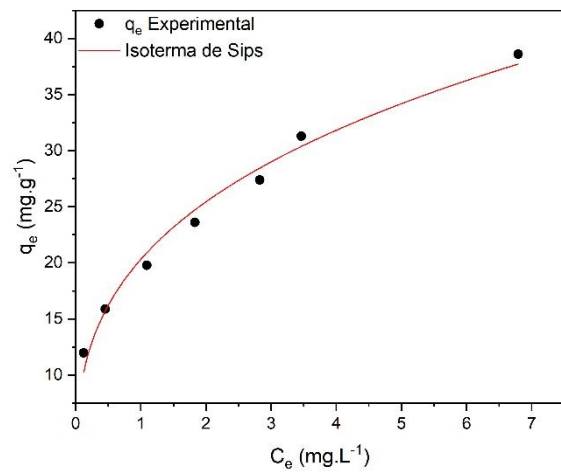


Figura 12: Isoterma de Sips

As Figuras 10, 11 e 12 mostram os resultados de ajustes aos modelos de Liu, Redlich-Peterson e de Sips, respectivamente.

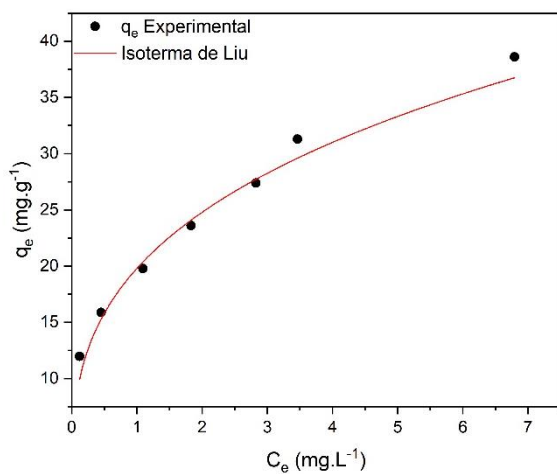
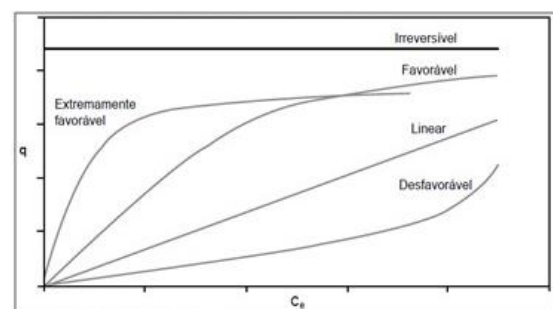


Figura 10: Isoterma de Liu

Segundo Nascimento *et al.* (2020) o comportamento da curva de equilíbrio de adsorção nos informa sobre o mecanismo de adsorção e se é favorável ou não à adsorção, conforme mostrado na Figura 13.

As curvas das isotermas obtidas para todos os modelos, apresentaram-se como favoráveis à adsorção.

Figura 13: Formas possíveis de isotermas de adsorção (Nascimento *et al.*, 2020)

Ou seja, para uma isoterma favorável, a massa do adsorvato retida por unidade de massa do adsorvente é alta para uma baixa concentração de adsorvato na fase líquida (Moreira, 2008; Sousa Neto, 2012; Dos Santos, 2019).

Segundo Alleoni *et al.* (1998), a equação de Langmuir baseia-se em três premissas:

- Homogeneidade da superfície de adsorção: a adsorção é constante e independente da extensão da cobertura da superfície;

- A adsorção ocorre sem interação com as moléculas do soluto (ocorre em sítios específicos);

- Ocorre adsorção máxima quando uma camada monomolecular cobre totalmente a superfície do adsorvente.

O modelo de Freundlich considera que os sítios de adsorção possuem afinidades diferentes para o adsorvato, isto implica que a adsorção ocorre numa superfície heterogênea, sugerindo que os primeiros locais a serem ocupados são os sítios de adsorção de maior energia. Conhecendo que os processos de adsorção favoráveis estão associados a valores de n na faixa $1 < n < 10$, como é o caso obtido aqui, do valor de n de 3,0622, então, mais forte é a interação entre adsorvato/adsorvente.

O modelo de isoterma de Liu prevê como princípio de que os sítios ativos do adsorvente não possuem a mesma energia, sendo assim há a presença de sítios ativos preferenciais do adsorvente em relação a ocupação pelas moléculas do adsorvato (Vaghetti *et al.*, 2009). A hipótese da adsorção infinita do modelo de Freundlich e a hipótese de monocamada do modelo de Langmuir foram parâmetros desconsiderados nos modelos de Liu, mesmo sendo essa isoterma uma combinação dos modelos de Langmuir e Freundlich (Umpierrez, 2021).

Redlich-Peterson é uma mescla das isotermas de Langmuir e Freundlich, permitindo sua aplicação em sistemas homogêneos ou heterogêneos e que pode ser aplicada para processos adsorptivos em amplas faixas de concentração. (Nascimento *et al.*, 2020). Se o valor de β é muito próximo ou igual a 1, a isoterma de Redlich-Peterson é reduzida para a de Langmuir e, quando o termo $a_{RP} \cdot C_e^\beta$ é muito maior que 1, o modelo aproxima-se do

modelo de Freundlich (Debrassi; Largura; Rodrigues, 2011), sendo esta última característica obtida no resultado do presente estudo.

A isoterma de Sips é uma combinação das duas isotermas descritas anteriormente (Langmuir e Freundlich). Em baixas concentrações de adsorbato, a equação se reduz a isoterma de Freundlich e quando n_s está próxima de 0, o que corrobora com o resultado aqui obtido.

Os gráficos referentes às isotermas de Langmuir, Freundlich, Liu, Redlich-Peterson e de Sips obtiveram coeficientes de determinação de 0,8726; 0,9850, 0,9839, 0,9849 e 0,9840 respectivamente, todos com bons ajustes, porém, o modelo de isoterma de Freundlich foi o que apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais entre os testados.

CONCLUSÃO

O caroço de buriti mostrou-se um material com potencial satisfatório no que diz respeito à processos de adsorção e suas características morfológicas, em decorrência da presença de porosidade após o processo de carbonização, a qual foi confirmada pela análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

O modelo de isoterma de Freundlich foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, com valor de coeficiente de determinação (R^2) de 0,9850, indicando ser capaz de explicar 98,5% das variabilidades experimentais.

Os resultados mostraram uma grande afinidade eletrostática entre adsorvente e adsorbato e as isotermas de adsorção comprovam a capacidade extremamente favorável do processo.

O adsorvente produzido a partir carvão de buriti apresentou características que favoreceram a adsorção do corante catiônico empregado, somente com a carbonização do material, sem ativação térmica ou química, com economia de tempo, energia e de reagentes indicando ser um promissor adsorvente para o corante azul de metileno.

NOMENCLATURA

Abs	Absorbância	[adm.]
C_e	Concentração do adsorbato no equilíbrio	[mg. L ⁻¹]
C_i	Concentração inicial do adsorbato	[mg. L ⁻¹]
C_f	Concentração final do adsorbato	[mg. L ⁻¹]
V	Volume da solução	[L]
m	Massa do adsorvente	[g]
q	Capacidade de adsorção	[mg. g ⁻¹]

REFERÊNCIAS

- ALLEONI, L.R.F.; Camargo, O.A.; Casagrande, J.C. Isotermas de Langmuir e de Freundlich na descrição da adsorção de boro em solos altamente intemperizados. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.55, n.3, p.379-387, 1998.
- BOURIKAS, K.; VAKROS, J.; KORDULIS, C.; LYCOURGHOTIS, A. Potentiometric Mass Titrations: Experimental and Theoretical Establishment of a New Technique for Determining the Point of Zero Charge (PCZ) of Metal (Hydr)Oxides. *J. Phys. Chem.* v. 107, p. 9441- 9451, 2003.
- CRINI, Gregorio. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. *Bioresource technology*, v. 97, n. 9, p. 1061-1085, 2006.
- CUNHA, M. A. Adsorção e dessorção supercrítica de carotenos e antioxidantes do óleo de buriti (*Mauritiaflexuosa*, Mart) em leito de γ -alumina. 97 f. Tese (Doutorado de Recursos Naturais da Amazônia) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.
- DEBRASSI, Aline; LARGURA, Maria Claudia Tonelli; RODRIGUES, Clóvis Antonio. Adsorção do corante vermelho congo por derivados da α -carboximetilquitosana hidrofobicamente modificados. *Química Nova*, v. 34, p. 764-770, 2011.
- DOS SANTOS, B. A. Compósito de zeólita A magnética sintetizada a partir das cinzas volantes do carvão para adsorção de poluentes metálicos. 2019. 100 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- FUNGARO., D. A.; BRUNO, M. Remoção de azul de metileno de solução aquosa usando zeólitas sintetizadas com amostras de cinzas de carvão diferentes. *Quim. Nova*, Vol. 32, No. 4, 955-959, 2009.
- GOMES, P. R. M. Estudo do potencial de adsorção dos íons Zinco em sistemas aquoso utilizando a casca e polpa do Baru (*Dipteryx alata*) como adsorvente. 2015. TCC (Graduação em Química Industrial). Universidade Estadual de Goiás. Anápolis, Goiás, 2015.
- GUARATINI, C. C. I; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. *Química Nova*, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.
- IGWE, J.C.; ABIA, A. A. Adsorption isotherm studies of Cd (II), Pb (II) and Zn (II) ions bioremediation from aqueous solution using unmodified and EDTA-modified maize cob. *Ecletica Química*, v. 32, n. 1, p. 33 – 43, 2007.
- KENNEDY, Peter. *A Guide to Econometrics*. Massachusetts: Blackwell Publishing, 2008.
- KUMAR, T. K. M. P. et al. Highly efficient performance of activated carbon impregnated with Ag, ZnO and Ag/ZnO nanoparticles as antimicrobial materials. *RSC advances*, v. 5, n. 130, p. 108034-108043, 2015.
- LIU, Y. *et al.* A general model for biosorption of Cd²⁺, Cu²⁺ and Zn²⁺ by aerobic granules. *Journal of biotechnology*, v. 102, n. 3, p. 233-239, 2003.
- MOREIRA, S. A. Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pedúnculo de caju: estudo de batelada e coluna de leito fixo. 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- NASCIMENTO, R. F. *et.al.* Adsorção: Aspectos Teóricos e Aplicações

- Ambientais. Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 2020.
- NUNES, Anne A.; FRANCA, Adriana S.; OLIVEIRA, Leandro S. Activated carbons from waste biomass: An alternative use for biodiesel production solid residues. *Bioresource technology*, v. 100, n. 5, p. 1786-1792, 2009.
- REGALBUTO, J. R.; ROBLES, J. The engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation, University of Illinois: Chicago, 2004.
- SIEGEL, S.; CASTELLAN JR., J. Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 435p.
- SOUSA NETO, V. O. et al. Use of coconut bagasse as alternative adsorbent for separation of copper (II) ions from aqueous solutions: isotherms, kinetics, and thermodynamic studies. *BioResources*, v. 6, n. 3, p. 3376-3395, 2012.
- TRIOLA, M. F. Introdução à Estatística. Rio de Janeiro: LTC, 1999.
- UMPIERRES, C. S. Utilização de materiais a base de biocarbono ativados derivados da semente de tucumã, como adsorventes para remoção de contaminantes emergentes. Tese de doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, 2021.
- VAGHETTI, J.C.P.; LIMA, E.C.; ROYER, B.; CARDOSO, N.F.; MARTINS, B.; CALVETE, T. Pecan nutshell as biosorbent to remove toxic metals from aqueous solution. *Separation Science and Technology*, v. 44, n. 3, p. 615- 644, 2009.
- XING, B., VECITIS, C. D., & SENESI, N. (Eds.). (2016), *Engineered Nanoparticles and the Environment: Biophysicochemical Processes and Toxicity*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.