

PORONGO COMO BIOSORVENTE: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS E AMBIENTAIS

CALABASH AS BIOSORBENT: PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS, TECHNOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL APPLICATIONS

Kethleenn Drusina de Lima¹ Yasmin Araujo da Silva² Keller Paulo Nicolini³ Jaqueline Nicolini⁴ 

Resumo: O uso de biossorventes em estudos de adsorção é uma estratégia que permite reduzir os impactos ambientais causados por espécies ambientalmente tóxicas ou nocivas. O uso de biossorvente permite agregar valor à subprodutos da matriz regional no que se refere a aplicações tecnológicas, promovendo sustentabilidade e desenvolvimento local e regional. Neste estudo foi utilizado o exocarpo e o mesocarpo do porongo (*Lagenaria* spp.) como biossorvente alternativo para remoção do corante alizarina, o qual é utilizado para avaliar a estabilidade térmica e a acidez do leite. Os estudos foram conduzidos a 25 °C, tendo sido gerados os parâmetros de equilíbrio a partir das isotermas de Freundlich e de Langmuir. A isoterma de Freundlich indica biossorção com baixa heterogeneidade, representada pelos valores de $n = 7,76$ ($2 < n < 10$). A isoterma de Langmuir indica biossorção linear, com valor de $R_L = 1$, sendo favorável ao modelo em monocamada. Os parâmetros cinéticos indicam que a sorção ocorre na interface sólido/líquido se ajustando ao modelo de pseudosegunda ordem ($R^2 = 0,98$). Este estudo demonstra potencial para o uso de porongo como biossorvente alternativo para a remoção de corantes provenientes da indústria de laticínios, uma alternativa que pode ser empregada como estratégia para a gestão ambiental visando a Produção mais Limpa (P+L).

Palavras-chave: Cinética. Parâmetros de equilíbrio. Meio ambiente. Produção mais Limpa.

¹ Estudante do Curso de Farmácia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná, kethdrusina100@gmail.com. Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-2107-6544>

² Estudante do Curso Técnico em Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná, yasmin08araujozebra@gmail.com. Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-2335-1300>

³ Doutor em Química e professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná, keller.nicolini@ifpr.edu.br. Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-1185-6229>.

⁴ Doutora em Química e professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná, jaqueline.nicolini@ifpr.edu.br. Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-3446-9275>.

Abstract: The use of biosorbents in adsorption studies allows to reduce the impacts caused by environmentally toxic or harmful species. The use of the biosorbent adding value to by-products from regional matrix concerning to technological applications, promoting sustainability, local and regional development. In this study the exocarp and the mesocarp of calabash (*Lagenaria* spp.) were used as an alternative biosorbent for the removal of the alizarin dye, which is used to evaluate the thermal stability and the milk acidity. The studies were done at 25 °C, and the thermodynamic parameters were fitted using Freundlich and Langmuir isotherms. The kinetic parameters indicate the better fit for pseudo-second order kinetics. The Freundlich isotherm indicates biosorption with low heterogeneity, represented by n , with values of $n = 7.76$ ($2 < n < 10$). The Langmuir isotherm indicates linear biosorption, with $R_L = 1$, that is mean favorable to the monolayer model. The kinetic parameters indicate sorption at the solid/liquid interface, with better fit to the pseudo-second order kinetic ($R^2 = 0.98$). This study shows applications to calabash (porongo) as an alternative biosorbent used to removal of dyes from the dairy industry, an alternative that can be used as a strategy for environmental management to cleaner production.

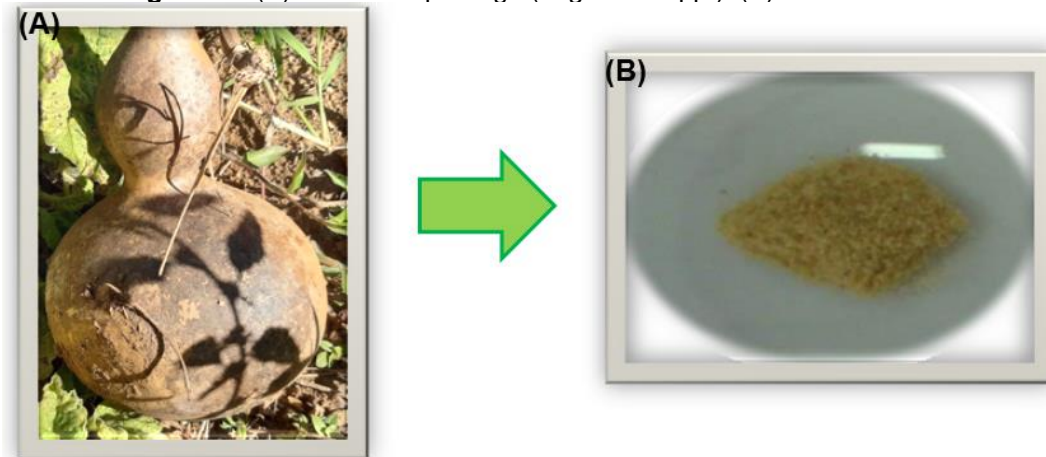
Keywords: Kinetic. Thermodynamic parameters. Environment. Cleaner Production.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Diferentes biomassas (CRUZ et al., 2016) possuem diferentes capacidades em atuar como bioissorventes, sendo crescente a busca por bioissorventes alternativos (BOJIĆ et al., 2013; FRANCISKIEVICZ; NICOLIN; SOUZA, 2020; PERINI et al., 2012; QU et al., 2019) que reduzam impactos ambientais e agreguem valor a matriz regional.

Diferentes biomassas (ANTUNES et al., 2016; CHAVES et al., 2008; CHIARELLO et al., 2012; MATOS et al., 2013) vêm sendo investigadas para serem utilizadas como bioissorventes (ALLASIA et al., 2019; CÁCERES; MORAIS; CREXI, 2017; HONORATO et al., 2017; MATOS et al., 2013; SILVEIRA NETA et al., 2012), conforme apresentado no Quadro 1. Neste trabalho foi utilizada a biomassa de porongo (*Lagenaria* spp.) (Cucurbitaceae) (Figura 1) (LAG), uma planta de uso generalizado em todo o mundo, utilizada no Sul do Brasil para a confecção de cuias para consumir uma bebida típica, chamada de “chimarrão” ou “mate” (BRACESCO et al., 2011).

Figura 1 – (A) Cultivo do porongo (*Lagenaria* spp.). (B) Bioissorvente obtido



Fonte: Os autores.

Quadro 1 – Capacidades de adsorção de diferentes biomassas em diferentes temperaturas de trabalho para diversos corantes

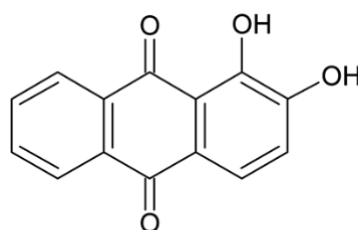
Biossorvente	Adsorbato (corante)	Temperatura (°C)	Capacidade de adsorção	Comprimento de onda da análise (UV-Vis, nm)
Fibra de algodão ¹	Alizarina	Temperatura ambiente	3,4-7,4 µmol/g	430
Fungo <i>Aspergillus niger</i> ²	Índigo carmim	Temperatura ambiente	60 mg/g	610
Bucha vegetal (<i>Luffa cylindrica</i>) ³	Corante azul marinho direto	15	11,61 mg/g	582
		45	15,06 mg/g	
		70	17,66 mg/g	
<i>Luffa cylindrica</i> ativada com HCl ³	Corante azul marinho direto	25	15,67 mg/g	582
<i>Luffa cylindrica</i> ativada com NaOH ³			24,04 mg/g	
<i>Luffa cylindrica</i> natural ³			17,14 mg/g	
Farelo de soja ⁴	Erionyl RXL amarelo	60	98,11 % (pH 4) e 95,96 % (pH 6)	435,5 (amarelo)
			78-95 %	
	Erionyl R azul marinho		98,32 % (pH 4) e 98,49 % (pH 6)	565,5 (azul marinho)
			92-98 %	
	Erionyl vermelho O A-3B		99,32 % (pH 4) e 98,83 % (pH 6)	521,5 (vermelho)
			92-98 %	
Noz de macadâmia <i>in natura</i> ⁵	Corante azul de metileno	20-60	117 mg/g	664
Noz de macadâmia quimicamente modificada ⁵			184 mg/g	
Serragem de Angico Branco ⁶	Corante Reativo Laranja	25	2,74 mg/g (pH 1)	494
Serragem de Muracatiara ⁶			2,08 mg/g (pH 1)	
Caroço da azeitona ⁷	Corante azul de metileno	25	4,0 mg/g	665
Casca da castanha do Pará ⁸	Corante Violeta cristal	25	54,3 mg/g	593
	Corante Azul de metileno		57,6 mg/g	620
Resíduos de sementes de <i>Mabea fistulifera</i> mart. ⁹	Direct Red 80	25	4,91 mg/g (pH 2)	537
	Reactive Blue 21		11,13 mg/g (pH 2)	631
Casca de abacaxi (<i>Ananas comosus</i>) ¹⁰	Corante Azul de metileno	30	17,12 mg/g	660
		40	10,06 mg/g	
Bagaço de malte bruto ¹¹	Corante reativo azul BF-5G	30	58 mg/g (pH 3)	610
Bagaço de malte lavado ¹¹			40 mg/g (pH 3)	

Biomassa mista de <i>Aspergillus niger</i> e capim elefante (<i>Pennisetum purpureum schum</i>) ¹²	Corante Remazol Black b	30, 40 e 50	9,64 mg/g (pH 4,5)	597
Bagaço de malte ¹³	Neolan Preto WA	25	64,34 mg/g	566,5
Fibras do pseudocaule da bananeira tratado com HCl ¹⁴	Preto Colorsupra ACR supra	Temperatura ambiente	40 mg/L	600
Fibras do pseudocaule da bananeira tratado com NaOH ¹⁴			50 mg/L	

¹(FORD; RAYNER; BLACKBURN, 2018). ²(CHAVES et al., 2008). ³(ANTUNES et al., 2016). ⁴(CHIARELLO et al., 2012). ⁵(HONORATO et al., 2017). ⁶(MATOS et al., 2013). ⁷(CÁCERES et al., 2017). ⁸(ALLASIA et al., 2019). ⁹(SILVEIRA NETA et al., 2012). ¹⁰(ANTUNES et al., 2018). ¹¹(ARRIEL et al., 2019). ¹²(CRUZ et al., 2016). ¹³(FRANCISKIEVICZ et al., 2020). ¹⁴(PERINI et al., 2012).

Neste trabalho foram investigadas características físico-químicas, aplicações tecnológicas e ambientais estudando a capacidade da biomassa de LAG em remover o corante alizarina (Figura 2). A alizarina é um corante utilizado na forma de alizarol (solução alcóolica) na indústria de laticínios para avaliar a estabilidade térmica e a acidez do leite (FISCHER et al., 2012). A alizarina é um dos corantes obtidos a partir das raízes da garança (*Rubia tinctorum L.*), os quais vêm sendo utilizados como corante vermelho a séculos (FORD et al., 2018).

Figura 2 – Estrutura do corante alizarina.



Alizarina

Fonte: Estrutura disponível na plataforma da PubChem (PUBCHEM), desenhada pelos autores

A capacidade de adsorção (q_e , mg/g) do biossorvente pode ser calculada usando a Equação 1:

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \times V}{m} \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo: q_e (mg/g) a capacidade de adsorção de cada biossorvente; V (L) o volume inicial; m (g) a massa de cada biossorvente; C_o (mg/L) a concentração inicial; e C_e (mg/L) a concentração no equilíbrio.

As equações de Freundlich e de Langmuir são tipicamente empregadas em estudos de adsorção. Estudos descrevem a linearização das isotermas de Freundlich (Eq. 2) e de Langmuir (Eq. 3) (SOUZA; ANTUNES; CONCEIÇÃO, 2013; YAO et al., 2010), as quais foram utilizadas neste trabalho.

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (\text{Eq. 2})$$

Para a equação de Freundlich (Eq. 2), q_e (mg/g) é a capacidade de adsorção no equilíbrio, C_e (mg/L) é a concentração de equilíbrio e K_F (mg/g (L/mg)^{1/n}) e $1/n$ são constantes de adsorção da equação de Freundlich, sendo que o parâmetro n descreve a intensidade de adsorção. Os valores de $1/n$ e de n são valores adimensionais (KHORASANI; SHOJAOSADATI, 2019).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_o K_L} + \frac{1}{q_o} C_e \quad (\text{Eq. 3})$$

Para a equação de Langmuir (Eq. 3) q_e (mg/g) é a capacidade de adsorção no equilíbrio ou a quantidade de adsorvente adsorvido por uma unidade de massa de adsorbato; C_e (mg/L) é a concentração de equilíbrio; q_o (mg/g) é a capacidade máxima de adsorção e K_L (L/mg) é a taxa de adsorção de Langmuir (constante de adsorção de Langmuir) (YAO et al., 2010). A partir dos parâmetros de Langmuir (Eq. 3), é possível calcular o parâmetro R_L (Eq. 4). O parâmetro R_L é adimensional, sendo chamado de fator de separação ou parâmetro de equilíbrio (HALL et al., 1966).

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L \times C_o} \quad (\text{Eq. 4})$$

Os modelos cinéticos de pseudoprimeira ordem e de pseudossegunda ordem são geralmente empregados para a determinação dos parâmetros cinéticos. Conforme descrito por Debrassi, Largura e Rodrigues (2011), o modelo de pseudoprimeira ordem, também conhecido como Equação de Lagergren, sendo apresentado na Eq. 5:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (\text{Eq. 5})$$

Sendo k_1 a constante de adsorção de primeira ordem (1/min), q_e a quantidade adsorvida no equilíbrio (mg/g) e a q_t quantidade adsorvida (mg/g) no tempo t (min) (DEBRASSI; LARGURA; RODRIGUES, 2011).

Já o modelo de pseudossegunda ordem, é apresentado na Eq. 6:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (\text{Eq. 6})$$

Sendo k_2 a constante de adsorção de segunda ordem (g/mg.min), q_e a quantidade adsorvida no equilíbrio (mg/g) e q_t a quantidade adsorvida (mg/g) no tempo t (min) (DEBRASSI et al., 2011).

Diante do exposto, este trabalho investiga a capacidade da biomassa de porongo em remover o corante alizarina de soluções aquosas como uma maneira ambientalmente sustentável para reduzir impactos ambientais a partir de uma estratégia tecnológica que permita reduzir os custos do processo de tratamento de efluentes que contenham alizarina.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Material e métodos

2.2.1 Reagentes, equipamentos e preparo do bioissorvente

O corante alizarina foi adquirido da empresa Neon (Brasil). Foi utilizada água destilada em todos os testes.

Para a determinação do pH das amostras, foi utilizado um pHmetro digital de bancada (pHS-38W microprocessor) utilizando soluções tampão (Vetec) pH 4,00 e pH 7,00 para calibrar o pHmetro. As absorbâncias foram obtidas em um espectrofotômetro UV-Basic em 557 nm

O porongo (*Lagenaria* spp.) (LAG), é uma planta rasteira e resistente e foi obtida na região de Palmas, no sudoeste do Paraná (Latitude: -26.47880 S e Longitude: -51.99583 W). A parte externa (exocarpo) e a parte interna (mesocarpo) de LAG foram limpas e as sementes foram descartadas. A biomassa de LAG foi triturada até granulometria $\leq 150 \mu\text{m}$, lavada extensivamente com água destilada sob agitação a 25 °C durante 4 h. Em seguida, a biomassa foi filtrada e seca em estufa a 60 °C até massa constante. Após o preparo do material, a biomassa de LAG foi novamente triturada para eliminar pequenos grânulos formados durante o processo de secagem. O pH da biomassa foi medido, tendo caráter básico (pH 8,2).

2.2.2 Isotermas de adsorção, parâmetros de equilíbrio e parâmetros cinéticos

Os testes foram realizados em batelada, consistindo no uso de $20 \pm 0,3$ mg de biomassa em 20 mL de solução aquosa contendo alizarina ($6,00 \times 10^{-5}$ mol/L equivalente a 20,53 mg/L). A solução de alizarina foi preparada em meio alcalino, utilizando NaOH 0,1 mol/L para promover a total dissolução do corante alizarina (pH 11,7).

Dessa forma, os testes de adsorção (bioissorção) foram realizados em pH controlado (pH 11,7) em banho termostaticado sob agitação periódica até atingir o equilíbrio, durante 30 min, na temperatura de 25 °C em 7

concentrações: $2,40 \times 10^{-5}$ mol/L, $3,00 \times 10^{-5}$ mol/L, $3,90 \times 10^{-5}$ mol/L, $4,50 \times 10^{-5}$ mol/L, $5,10 \times 10^{-5}$ mol/L, $5,70 \times 10^{-5}$ mol/L e $6,00 \times 10^{-5}$ mol/L. Foram retiradas alíquotas de cada solução contendo o corante alizarina, na presença da biomassa de LAG, de dentro dos béqueres a cada 5 min para que fosse monitorada a absorvância do corante alizarina (em 557 nm) até atingir o tempo de equilíbrio de adsorção (30 min). Todos os testes foram realizados em triplicata. Os parâmetros de equilíbrio foram calculados para as isotermas de Freundlich (Eq. 2) e de Langmuir (Eq. 3).

Para os testes cinéticos, foram utilizados 20 mL de solução aquosa contendo alizarina, concentração de $6,00 \times 10^{-5}$ mol/L (20,53 mg/L), com a absorvância medida em 557 nm, a cada 5 min, durante 30 min, sob agitação periódica, a 25 °C. Os testes foram realizados em triplicata. Os parâmetros cinéticos foram calculados para as cinéticas de pseudoprimeira ordem (Eq. 5) e pseudossegunda ordem (Eq. 6). O método estatístico empregado para análise dos dados foi a regressão linear múltipla (AMÉRICO; LACRUZ, 2017).

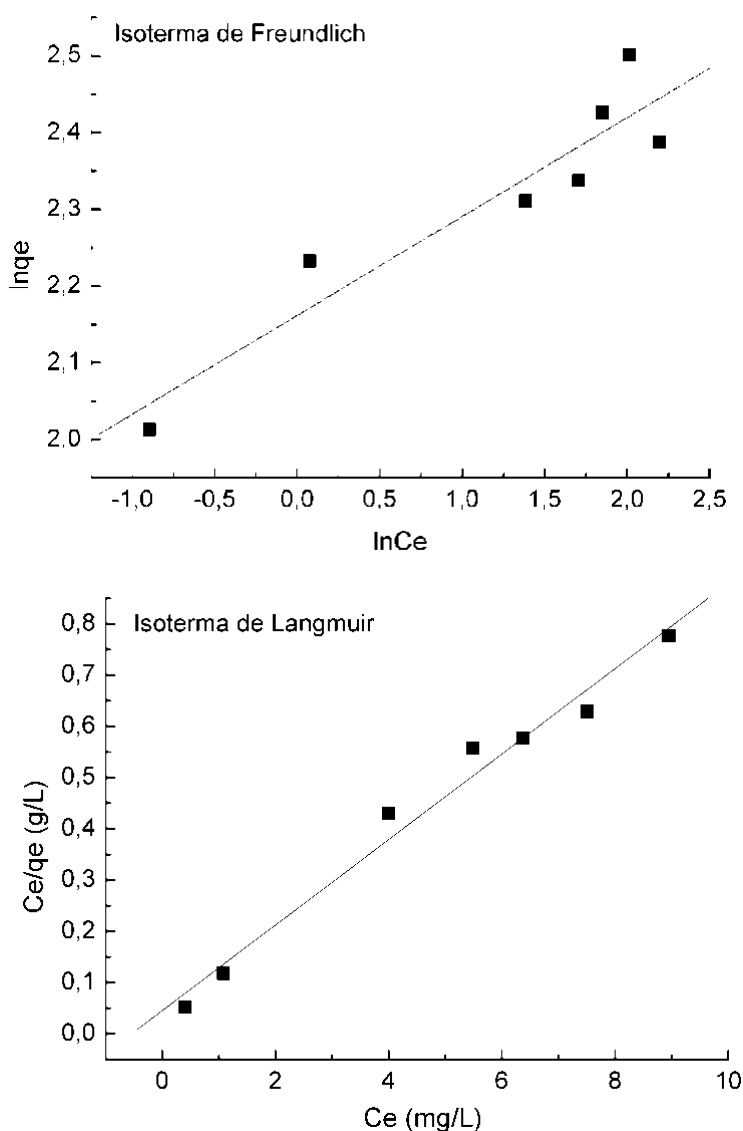
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As isotermas de Langmuir e Freundlich (Figura 3) se ajustaram para a temperatura de 25 °C (Quadro 2), indicando que para o modelo de Langmuir, um modelo de monocamada, a adsorção é linear, com valor de $R_L = 1,00$, o que indica que há partição constante, isto é, o soluto penetra mais rapidamente no adsorbato do que o solvente (FALONE; VIEIRA, 2004). O valor de R_L foi calculado a partir da Eq. 4. O valor de R_L indica se a isoterma obtida é desfavorável ($R_L > 1$), linear ($R_L = 1$), favorável ($0 < R_L < 1$) ou irreversível ($R_L = 0$), sendo no caso deste trabalho linear. Observa-se que na Eq. 4, K_L (L/mg) é a constante de Langmuir e C_o (mg/L) é a maior concentração do corante, o que explica R_L ser adimensional (YAO et al., 2010). As constantes de equilíbrio q_o e K_L , obtidas a partir do ajuste linear, predizem que a adsorção é favorável (YAO et al., 2010).

Já o modelo de Freundlich indica boa capacidade de adsorção com valor de $n = 7,76$ ($2 < n < 10$) (CHOI; CHO, 1996), enquanto que o valor de $1/n$ próximo a zero indica que a adsorção tem maior heterogeneidade (YAO et al., 2010).

Para as condições experimentais o pH foi monitorado, sendo que a biomassa LAG apresentou pH 8,2 e a solução de alizarina na presença da biomassa de LAG apresentou pH 11,7 durante os testes de equilíbrio e durante os testes cinéticos.

Figura 3 – Isotermas de Freundlich e de Langmuir para biossorção do corante alizarina utilizando LAG como biossorvente



Fonte: Os autores.

Sendo: *Isoterma de Langmuir:* q_e = capacidade de adsorção no equilíbrio ou a quantidade de adsorvente adsorvido por uma unidade de massa de adsorbato. C_e = concentração de equilíbrio. *Isoterma de Freundlich:* q_e = capacidade de adsorção no equilíbrio. C_e = concentração de equilíbrio.

Quadro 2 – Parâmetros de equilíbrio referentes a biossorção da alizarina utilizando LAG como biossorvente

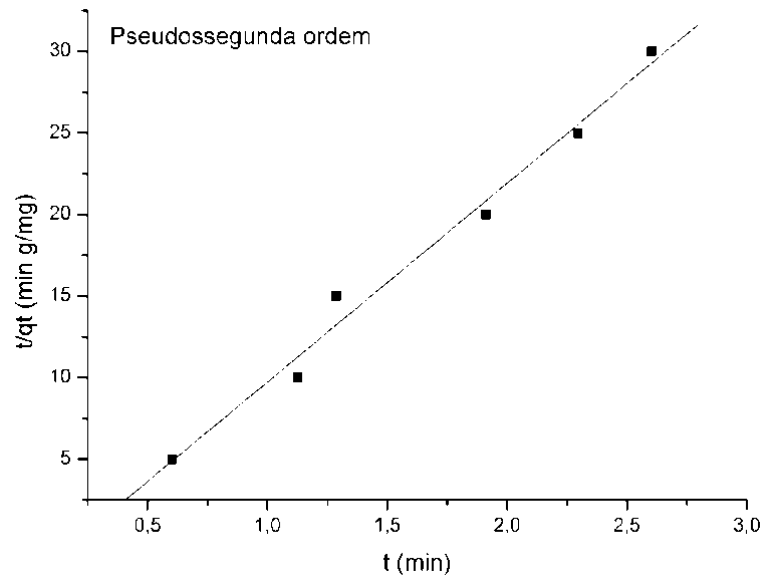
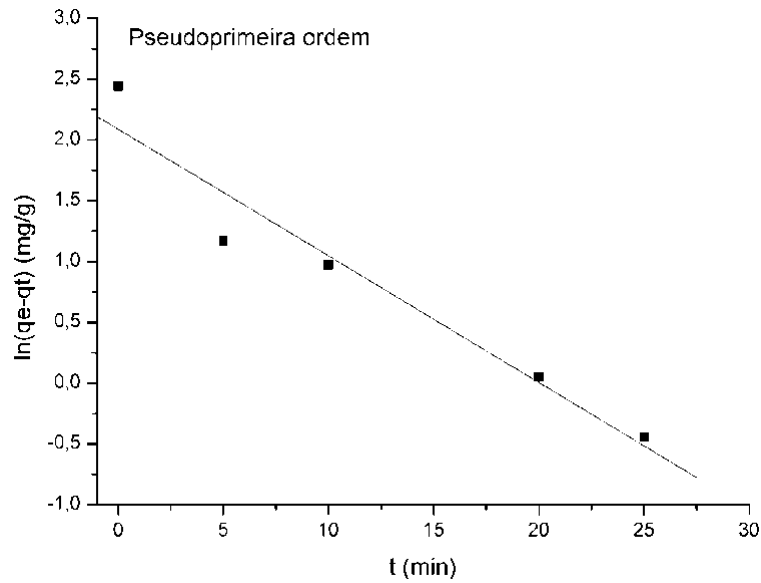
Isotermas	Parâmetros de equilíbrio			
	K_L (L/mg)	q_0 (L/mg)	R_L	R^2
Langmuir	1,82	11,99	1,00	0,99
Freundlich	K_F (mg/g L/mg) ^(1/n)	n	1/n	R^2
	8,69	7,76	0,13	0,94

Fonte: Os autores.

Sendo: K_L = taxa de adsorção de Langmuir (constante de adsorção de Langmuir). q_0 = a capacidade máxima de adsorção. K_F e $1/n$ = constantes de adsorção de Freundlich. n = intensidade de adsorção.

Os estudos cinéticos (Figura 4 e Quadro 3) demonstraram, que a quantidade de alizarina adsorvida calculada no equilíbrio de 8,07 mg/g, valor obtido a partir da cinética de pseudoprimeira ordem, está próximo a quantidade máxima de alizarina adsorvida no equilíbrio, a 25 °C, determinada a partir da Equação 1, que é de 12,84 mg/g. Os coeficientes de correlação (R^2) foram obtidos para as cinéticas de pseudoprimeira ($R^2 = -0,94$) (Equação 5) e pseudossegunda ordem ($R^2 = 0,98$) (Equação 6), indicando o melhor R^2 para o modelo de pseudossegunda ordem. O ajuste a uma cinética de pseudossegunda ordem indica que a sorção é determinada pela taxa de reações de adsorção, ocorrendo na interface sólido/líquido (BOJIC et al., 2013).

Figura 4 – Cinéticas de biossorção do corante alizarina utilizando LAG como biossorvente



Fonte: Os autores.

Sendo: q_e = quantidade adsorvida no equilíbrio. q_t quantidade adsorvida em cada tempo. t = tempo.

Quadro 3 – Parâmetros cinéticos obtidos a partir dos modelos de pseudoprimeira ordem e pseudossegunda ordem (concentração do corante = 20,53 mg L⁻¹, LAG = 20 mg e pH 11,7)

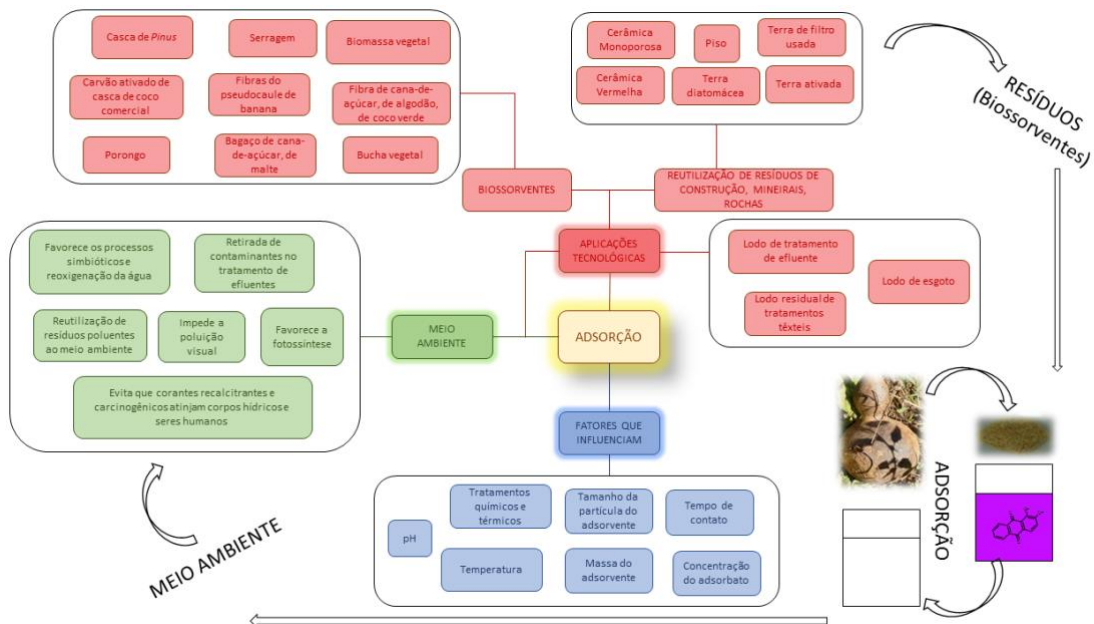
Modelo cinético	Parâmetros cinéticos		
	Pseudoprimeira ordem	q_e (mg/g)	k_1 (1/min)
	8,07	0,10	-0,97
Pseudossegunda ordem	$q_{e=}$ (mg/g)	k_2 (g/mg.min)	R^2
	0,082	-60,27	0,98

Fonte: Os autores.

Sendo: k_1 = constante de adsorção de primeira ordem. k_2 = a constante de adsorção de segunda ordem. q_e = quantidade adsorvida no equilíbrio.

A literatura descreve os processos de adsorção de corantes como um método de tratamento e remediação de efluentes, sendo uma estratégia amplamente abordada e empregada em processos tecnológicos. Há diferentes perspectivas e informações de caráter ambiental em relação a temática de estudo de descontaminação de efluentes contendo corantes por meio da técnica de adsorção por diferentes adsorventes. Dessa maneira, quando se fala em efluentes, há grande preocupação com a poluição dos ambientes aquáticos, dos recursos hídricos (DAVIES; SIMONOVIC, 2011), sendo a adsorção (AGRAWAL; VERMA, 2019; ANTUNES et al., 2018; BAKOYANNAKIS et al., 1993; DA SILVA; DE OLIVEIRA, 2012; HANAFY, 2021; WALKER; WEATHERLEY, 2001), utilizando biossorventes alternativos (ARRIEL et al., 2019; DE O. SALOMÓN et al., 2021; PUTRI et al., 2021), um método de tratamento de efluentes que busca atender a política da Produção mais Limpa (P+L) (ROSSI et al., 2017). A P+L faz parte da gestão ambiental empresarial a qual visa aumentar a eco eficiência, reduzindo os riscos ao homem e ao meio ambiente (PNUMA, 2004), promovendo assim o desenvolvimento sustentável. A partir do exposto foi construída a Figura 5, que correlaciona os temas: meio ambiente e aplicações tecnológicas com o método de adsorção envolvendo remoção de corantes de meio aquoso, demonstrando grande capilaridade e correlação entre os tópicos e conceitos abordados.

Figura 5 – Correlação envolvendo meio ambiente, aplicações tecnológicas e adsorção de corantes



Fonte: Os autores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstra potencialidades do uso de *Lagenaria* spp. como bioadsorvente alternativo. A capacidade máxima de remoção de 12,53 mg/g de alizarina na presença de biomassa de *Lagenaria* spp. *in natura*, equivale a 61,03 %, em pH 11,7. O perfil da adsorção indica modelo de monocamada, conforme isotermia de Langmuir, com baixa heterogeneidade, apresentando cinética de pseudossegunda ordem. Os estudos de adsorção são uma alternativa para promover o desenvolvimento sustentável visando o modelo de Produção mais Limpa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (IFPR, DIPE/PROEPI/PIAP Edital N° 05/2019), aos programas de bolsas de estudos e agências de fomento: Fundação Araucária (FA) - Programa de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC-FA), Conselho

Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq-Brasil) (PIBIC-Jr/CNPQ/IFPR).

REFERÊNCIAS

AGRAWAL, K.; VERMA, P. Biodegradation of synthetic dye Alizarin Cyanine Green by yellow laccase producing strain *Stropharia* sp. ITCC-8422. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**. v. 21, n. -, p. 101291, 2019.

ALLASIA, D., et al. 2019. Adsorção de corantes têxteis utilizando a casca da castanha do pará **Engenharia Sanitária e Ambiental Tecnologias para a Sustentabilidade**: 9-15: Editora Atena.

AMÉRICO, B. L.; LACRUZ, A. J. Contexto e desempenho escolar: análise das notas na Prova Brasil das escolas capixabas por meio de regressão linear múltipla. **Revista de Administração Pública**. v. 51, n., p. 854-878, 2017.

ANTUNES, A., et al. Avaliação da potencialidade de adsorção da bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) para remoção de corante de meios aquosos. **Tecno-Lógica**. v. 20, n. 2, p. 72-79, 2016.

ANTUNES, E. C. E. D. S., et al. Remoção de corante têxtil utilizando a casca do abacaxi como adsorvente natural. **HOLOS**. v. 3, n., p. 81-97, 2018.

ARRIEL, L. F. P., et al. Adsorção do corante reativo azul BF-5G em bagaço de malte bruto e lavado. **Brazilian Journal of Development**. v. 5, n. 10, p. 18496-18503, 2019.

BAKOYANNAKIS, D. N., et al. Studies of alizarine adsorption from solution on to aluminium hydroxide gels. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**. v. 58, n. 3, p. 247-253, 1993.

BOJIĆ, D. V., et al. Comparison of new biosorbents based on chemically modified *Lagenaria vulgaris* shell. **Desalination and Water Treatment**. v. 51, n. 34-36, p. 6871-6881, 2013.

BRACESCO, N., et al. Recent advances on *Ilex paraguariensis* research: minireview. **Journal of ethnopharmacology**. v. 136, n. 3, p. 378-384, 2011.

CÁCERES, G. R.; MORAIS, M. M.; CREXI, V. T. Cinética de adsorção do corante azul de metileno em caroço da azeitona. **Anais Congrega MIC-Mostra**

de Iniciação Científica e Anais MIC Jr-Mostra de Iniciação Científica Jr. v., n., p. 777-778, 2017.

CHAVES, K. O., et al. Adsorção de índigo carmim em biomassas mortas de *Aspergillus niger*. **Engenharia sanitária e ambiental.** v. 13, n. 4, p. 351-355, 2008.

CHIARELLO, L. M., et al. Treatment of acidic dyes solutions by adsorption in soybean meal. **Acta Scientiarum. Technology.** v. 34, n. 1, p. 97-103, 2012.

CHOI, Y.-S.; CHO, J.-H. Color removal from dye wastewater using vermiculite. **Environmental Technology.** v. 17, n. 11, p. 1169-1180, 1996.

CRUZ, I. J., et al. Remoção do corante Remazol Black b pelo uso da biomassa mista de *Aspergillus niger* e capim elefante (*Pennisetum purpureum schum*). **Engevista.** v. 18, n. 2, p. 265-279, 2016.

DA SILVA, W. L. L.; DE OLIVEIRA, S. P. Modificação das características de adsorção do bagaço de cana para remoção de azul de metileno de soluções aquosas. **Scientia Plena.** v. 8, n. 9, p., 2012.

DAVIES, E. G. R.; SIMONOVIC, S. P. Global water resources modeling with an integrated model of the social–economic–environmental system. **Advances in Water Resources.** v. 34, n. 6, p. 684-700, 2011.

DE O. SALOMÓN, Y. L., et al. Transforming pods of the species *Capparis flexuosa* into effective biosorbent to remove blue methylene and bright blue in discontinuous and continuous systems. **Environmental Science and Pollution Research.** v. 28, n. 7, p. 8036-8049, 2021.

DEBRASSI, A.; LARGURA, M. C. T.; RODRIGUES, C. A. Adsorption of congo red dye by hydrophobic o-carboxymethyl chitosan derivatives. **Química Nova.** v. 34, n. 5, p. 764-770, 2011.

FALONE, S. Z.; VIEIRA, E. M. Adsorção/dessorção do explosivo tetril em turfa e em argissolo vermelho amarelo. **Química Nova.** v. 27, n. 6, p. 849-854, 2004.

FISCHER, V., et al. Leite instável não ácido: um problema solucionável? **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal.** v. 13, n., p. 838-849, 2012.

FORD, L.; RAYNER, C. M.; BLACKBURN, R. S. Comparative sorption isotherms for colorants present in Dyers' madder (*Rubia tinctorum L.*) provide new insights into historical dyeing. **Coloration Technology.** v. 134, n. 1, p. 3-12, 2018.

FRANCISKIEVICZ, A. C.; NICOLIN, D. J.; SOUZA, F. B. D. Reaproveitamento do bagaço de malte na biossorção do corante têxtil neolan preto WA. **Revista Tecnologia e Sociedade**. v. 16, n. 41, p. 15-30, 2020.

HALL, K. R., et al. Pore- and Solid-Diffusion Kinetics in Fixed-Bed Adsorption under Constant-Pattern Conditions. **Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals**. v. 5, n. 2, p. 212-223, 1966.

HANAFY, H. Adsorption of methylene blue and bright blue dyes on bayleaf capertree pods powder: Understanding the adsorption mechanism by a theoretical study. **Journal of Molecular Liquids**. v. 332, n., p. 115680, 2021.

HONORATO, A. C., et al. Biosorbent of macadamia residue for cationic dye adsorption in aqueous solution. **Acta Scientiarum. Technology**. v. 39, n. 1, p. 97-102, 2017.

KHORASANI, A. C.; SHOJAOSADATI, S. A. Magnetic pectin-*Chlorella vulgaris* biosorbent for the adsorption of dyes. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. v. 7, n. 3, p. 3040-3046, 2019.

MATOS, T. T. S., et al. Aplicação de subprodutos industriais na remoção de corantes reativos têxteis. **Revista Virtual de Química**. v. 5, n. 5, p. 840-852, 2013.

PERINI, B. L. B., et al. Adsorção de corantes de efluente têxtil por resíduos da bananicultura. **Anais III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Goiânia. 2012

PNUMA. A Produção mais Limpa e Consumo Sustentável na América Latina e Caribe. 2004. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/pl_portugues.pdf. Acesso em: 24 mai., 2021.

PUBCHEM. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pccompound>. Acesso em: 24 mai., 2021.

PUTRI, K. N. A., et al. Facile Green Preparation of Lignocellulosic Biosorbent from Lemongrass Leaf for Cationic Dye Adsorption. **Journal of Polymers and the Environment**. v. -, n. -, p. 1-13, 2021.

QU, W., et al. Effect of properties of activated carbon on malachite green adsorption. **Fuel**. v. 249, n. -, p. 45-53, 2019.

ROSSI, T., et al. Caracterização de Efluente Têxtil Tratado por Adsorção com Adsorvente Residual Gerado na Indústria de Alumínio. **Anais** 6th International Workshop, Advances in Cleaner Production. São Paulo - Brazil. 2017

SILVEIRA NETA, J. D. J. D., et al. Remoção dos corantes Reactive Blue 21 e Direct Red 80 utilizando resíduos de sementes de *Mabea fistulifera* Mart. como biossorvente. **Revista Ambiente & Água**. v. 7, n. 1, p. 104-119, 2012.

SOUZA, K. C. D.; ANTUNES, M. L. P.; CONCEIÇÃO, F. T. D. Adsorção do corante Reativo Azul 19 em solução aquosa por lama vermelha tratada quimicamente com peróxido de hidrogênio. **Química Nova**. v. 36, n. 5, p. 651-656, 2013.

WALKER, G. M.; WEATHERLEY, L. R. Adsorption of dyes from aqueous solution — the effect of adsorbent pore size distribution and dye aggregation. **Chemical Engineering Journal**. v. 83, n. 3, p. 201-206, 2001.

YAO, Y., et al. Adsorption behavior of methylene blue on carbon nanotubes. **Bioresource Technology**. v. 101, n. 9, p. 3040-3046, 2010.

Enviado em: 01 jul. 2021.

Aceito em: 25 out. 2021.

Editor responsável: Mateus das Neves Gomes.