

Retenção de íons metálicos de cobre e zinco em casca de maracujá amarelo.

Retention of metal ions of copper and zinc in yellow passion fruit peel.

iones metálicos retención de cobre y zinc en la cáscara de maracuyá amarillo.

Bianca de Paula Ramos

Graduanda em Engenharia Ambiental, UNESP, Brasil.
bia.raamos@hotmail.com

Rosane Freire Boina

Professora Doutora, UNESP, Brasil.
rosane@fct.unesp.br



RESUMO: Tendo em vista a problemática da gestão de efluentes industriais com carga metálica, e buscando aliar o desenvolvimento econômico e ambiental, analisou-se a eficiência biossortiva da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) na remoção de íons metálicos de cobre e zinco. Para realização dos experimentos, o maracujá foi convertido a pó de granulometria 42 tyler (<355 μm). Foram utilizadas diferentes quantidades mássicas 0,1/1,0/5,0g no tratamento de soluções sintéticas em diferentes concentrações metálicas 0,5/1,0/5,0ppm. Variou-se o pH para 2, 7 e 10. As amostras, feitas em duplicata, foram agitadas por duas horas a 120rpm em temperatura ambiente. Após, foram submetidas à digestão nitro-perclórica (3:1) para posterior análise em espectrofotômetro de absorção atômica. O cálculo da eficiência de remoção do íon da solução aquosa foi realizado com o valor médio das concentrações, alcançando 92,95% para o cobre e 83,49% para o zinco. As condições de melhor desempenho para cada íon analisado foram repetidas e estudadas em função do tempo, revelando com isso que o tempo de adsorção máxima ocorreu em torno de 20 minutos de agitação. Outro fator analisado foi o enquadramento em isothermas de adsorção, sendo o cobre melhor enquadrado em Langmuir e o zinco em Freundlich. De forma geral, o tratamento gerou resultados tais que as concentrações metálicas finais, para todos os metais estudados, alcançaram os valores estipuladas pelo CONAMA nº 430/11.

PALAVRAS-CHAVE: Biossorção. Íons metálicos. *Passiflora edulis f. flavicarpa*.

ABSTRACT: Given the problem of management of industrial effluents with metallic charge and seeking to combine economic and environmental development, analyzed the biossortiva efficiency of the bark of yellow passion fruit (*Passiflora edulis f. Flavicarpa*) the removal of metallic copper and zinc ions. For the experiments, the passion was converted to particle size powder 42 tyler (<355 μm). different mass amounts used were 0,1/1,0/5,0g synthetic solutions for the treatment of different metal concentrations of 0,5/1,0/5,0ppm. the pH was varied for 2, 7 and 10. The samples taken in duplicate, were stirred for two hours at 120rpm at room temperature. After were submitted to nitro-perchloric digestion (3:1) for further analysis on the atomic absorption spectrophotometer. The calculation of the aqueous ion removal efficiency was carried out mean value of the concentrations achieving 92.95% to 83.49% for copper and zinc. The best performance conditions for each ion analysis were repeated and studied as a function of time, thereby revealing that the maximum adsorption time was about 20 minutes of stirring. Another factor was analyzed in the framework adsorption isotherms, being the copper better framed in Langmuir and zinc in Freundlich. Overall, treatment results generated such that the final metal concentrations for all metals studied, reached the values stipulated by CONAMA No. 430/11.

KEYWORDS: Biosorption. metal ions. *Passiflora edulis f. flavicarpa*.

RESUMEN: Teniendo en cuenta el problema de la gestión de los efluentes industriales con carga metálica y buscando combinar el desarrollo económico y ambiental, analizó la eficacia biossortiva de la corteza de fruta de la pasión amarilla (*Passiflora edulis f. Flavicarpa*) la eliminación de los iones metálicos de cobre y zinc. Para los experimentos, la pasión se convirtió al tamaño de las partículas de polvo 42 Tyler (<355 μm). diferentes cantidades de masa utilizados eran soluciones sintéticas 0,1/1,0/5,0g para el tratamiento de diferentes concentraciones de metal de 0,5/ 1,0 /5,0ppm. el pH se varió para 2, 7 y 10. Las muestras tomadas por duplicado, se agitó durante dos horas a 120 rpm a temperatura ambiente. Después se sometieron a digestión nitro-perclórico (3:1) para su posterior análisis en el espectrofotómetro de absorción atómica. El cálculo de la eficiencia de la eliminación acuosa de iones se llevó a cabo valor medio de las concentraciones que alcanzan 92,95% a 83,49% para el cobre y el zinc. Las mejores condiciones de rendimiento para cada análisis de iones se repitieron y estudiados como una función del tiempo, revelando así que el tiempo máximo de adsorción era de unos 20 minutos de agitación. Otro factor fue analizado en las isothermas de adsorción de marco, y las mejores tapas enmarca en Langmuir y Freundlich zinc. En general, los resultados del tratamiento generaron tal que las concentraciones de metales finales para todos los metales estudiados, alcanzaron los valores estipulados por la CONAMA Nº 430/11.

PALABRAS CLAVE: La biosorción. iones metálicos. *Passiflora edulis f. flavicarpa*.

INTRODUÇÃO

Os efluentes líquidos com íons metálicos são extremamente nocivos ao ambiente, uma vez que carregam produtos que ameaçam os ciclos naturais onde são despejados (KRAEMER, 2005). Porém, o tratamento destes materiais, geralmente possui alto custo de implantação ou execução e, muitas vezes, formação de resíduos tóxicos (VIEIRA et al., 2014).

Nesse contexto, o método de adsorção tem ganhado espaço devido a seu caráter inovador e econômico, além de este ser considerado superior a outras técnicas tanto para reutilização de água quanto para regeneração de muitos adsorventes após seu uso (MENEZES, 2010). Adsorção é o fenômeno no qual moléculas que estão presentes em um fluido, líquido ou gasoso, concentram-se espontaneamente sobre uma superfície sólida (MENEZES, 2010).

Quando o material adsorvente é de origem biológica o processo é chamado de biossorção. Vilar (2006, p.3) definiu biossorção como: “uma propriedade que certos tipos de biomassa morta possuem onde é possível a ligação de íons a partir de soluções aquosas”.

Os íons metálicos são retidos na superfície do biossorvente pela ocorrência, individual ou simultânea, de diversos tipos de processos como, por exemplo: quimissorção, complexação, adsorção-complexação nos poros, troca iônica, microprecipitação e adsorção na superfície (VAGHETTI, 2009). Vale notar que quando diversos componentes podem ser adsorvidos, geralmente o sólido é seletivo, o que torna possível o fracionamento dos componentes da solução (BORGES, 2006).

Aproveitar o potencial agroindustrial do Brasil e utilizar os resíduos deste setor para gestão ambiental traria vantagens para o meio ambiente e para a economia do país. Sendo o Brasil o maior produtor mundial de maracujá (IBGE 2013) e tendo 95% dessa produção com direcionamento à agroindústria de suco (CEPLAC, 2007), que gera como resíduo as cascas da fruta, este seria um material interessante para uso em processos biossorbitivos.

As características químicas da casca do maracujá também se adéquam a retenção de metais uma vez que a composição de suas fibras apresenta como maior agente a pectina (CORDOVA et al., 2005), substância que apresenta a capacidade de formação de gel na presença de íons, açúcares e ácidos, fator que reforça o seu potencial de aplicação como material adsorvente (PINHEIRO, 2007).

Outro fato essencial para análise do processo biossorbitivo é uma descrição matemática exata da capacidade de adsorção no equilíbrio, uma vez que permite prever a confiabilidade dos parâmetros de adsorção e a comparação quantitativa do comportamento das várias condições do sistema. Para tal, utilizam-se as isotermas de adsorção, sendo as de Langmuir e de Freundlich as mais comuns. O melhor modelo de isoterma a ser empregado, com melhor ajuste, é indicado pelo estudo cinético, além disso, este possibilita controlar a eficiência do tratamento ao longo do tempo (FIORENTIN, 2009).

Busca-se então avaliar a capacidade biossorbitiva da casca de maracujá amarelo, e assim formular uma hipótese que possa aliar o desenvolvimento econômico e ambiental a partir do

uso de resíduo sólido agroindustrial no tratamento de efluentes industriais líquidos com carga metálica.

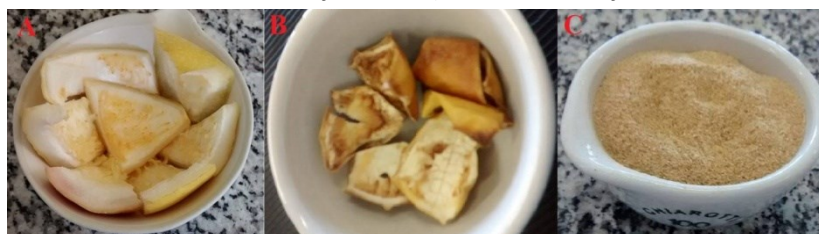
OBJETIVO

Analisar a eficiência biossortiva da casca de maracujá amarelo para os íons cobre e zinco sob diferentes condições de concentração, pH e massa, bem como avaliar o desempenho do tratamento ao longo do tempo e enquadrá-lo nas isotermas de Langmuir ou Freundlich.

METODOLOGIA

A casca do maracujá foi fragmentada, condicionada em cadinhos e posta para secar em estufa SOLAB, SL100/81 a $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por aproximadamente três horas. Em seguida, o produto foi triturado em um processador de alimentos doméstico e peneirado em malha 42 tyler resultando em um pó de granulometria muito fina, o qual foi condicionado em frasco apropriado. A Figura 1 retrata esse primeiro procedimento.

Figura 1. Preparo do resíduo da casca de maracujá: A) Casca do maracujá *in natura*; B) Casca do maracujá seca; C) Pó de maracujá.



Fonte: Autor (2015).

Para execução dos ensaios experimentais foram utilizadas diferentes quantidades em massa de pó de resíduo da casca do maracujá, bem como diferentes dosagens partindo das soluções padrão 1000ppm (Qhemis High Purity) dos metais selecionados para o estudo – cobre e zinco. Foi avaliada a propriedade biossortiva em diferentes massas de pó de maracujá, quais sejam: 0,1/1,0/5,0g. As soluções em tratamento foram preparadas com concentração variando de 0,5/1,0/5,0mg/L da solução padrão estoque do metal em tratamento. Essas variações foram necessárias para avaliar qual a melhor relação da massa de maracujá necessária para adsorver determinada concentração metálica.

Também foi analisada a influência do pH das soluções em estudo, determinando assim o pH ótimo para a realização do tratamento de biossorção para os diferentes íons metálicos. Os testes foram realizados com o pH de 2, 7 e 10, sendo ajustados com soluções de hidróxido de sódio a 0,1N ou ácido sulfúrico a 1,0N, conforme cada condição. O equipamento utilizado foi o pH-metro digital GEHAKA, modelo PG2000.

O material foi condicionado em frascos erlenmeyer, com 100mL da solução metálica para cada quantidade mássica e pH avaliado, sendo agitado pela Mesa Agitadora Orbital da TECNAL, modelo TE-141 (Figura 3), por duas horas a 120 rpm, a temperatura ambiente.

Após o tratamento em bancada foram executadas análises químicas para a determinação da concentração final das espécies metálicas presente no líquido. Para isso, as amostras líquidas tratadas foram filtradas, em filtro qualitativo, digeridas em solução nitro-perclórica (3:1) e, novamente, filtradas antes de serem submetidas à análise em espectrofotômetro de absorção atômica da PERKIN-ELMER, modelo AAnalyst200.

O equipamento de espectrometria de absorção atômica foi então ajustado nas condições exigidas para a determinação dos metais de interesse, sendo zero acertado com prova em branco (água destilada) e a curva de calibração determinada conforme a sensibilidade do método, descrita no manual do equipamento.

Após execução do tratamento e leitura do espectrofotômetro de absorção atômica, foi realizado cálculo da eficiência de remoção, com os valores de concentração determinados, a fim de avaliar se a casca do maracujá amarelo foi um bom meio biossorvente. O cálculo da eficiência foi realizado com o valor médio de concentração, por meio da Equação 1:

$$E = \frac{(C_o - C_f) * 100}{C_o} \quad \text{Equação 1}$$

Em que: E é a Eficiência de remoção (%); C_o é Concentração inicial do metal a ser tratado (mg/L); e C_f é Concentração final do metal tratado (mg/L).

Com estes valores em mãos foi realizado o estudo cinético, no qual o melhor resultado para cada metal foi repetido igualmente, porém com tempos de agitação diferentes: 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 100 e 120 minutos.

Foram feitos comparativos entre a porcentagem de eficiência, a concentração metálica final e a taxa de adsorção por unidade de massa (q) (Equação 2), em função do tempo de agitação.

$$q = \frac{(C_o - C_f) V}{m} \quad \text{Equação 2}$$

Em que: C_o é a concentração inicial (mg/L), C_f a concentração final (mg/L), V o volume (mL), e m a massa (g).

Após, foi realizado estudo das isotermas de adsorção, para isso acrescentou-se algumas análises laboratoriais, no qual o pH e quantidade mássica foram mantidos iguais aos valores do melhor desempenho, mas a concentração variou, sendo acrescentadas as concentrações 2,0/3,0/4,0ppm àquelas inicialmente estabelecidas. Dessa forma, os pontos ficam melhores alocados, diminuindo a possibilidade de erro. Utilizou-se o programa Excel para verificar o ajuste à isoterma de Langmuir (Equação 3) ou Freundlich (Equação 4):

$$q_e = \frac{Q_{max} \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad \text{Equação 3}$$

Em que: q_e é a quantidade adsorvida por massa de adsorvente (mg/g); Q_{max} é a quantidade máxima adsorvida por massa de adsorvente (mg/g); K_L é a constante de equilíbrio de Langmuir relacionada com a entalpia de adsorção (L/mg); e C_e é a concentração de equilíbrio (ppm).

$$q_e = k_f C_e^{1/n} \quad \text{Equação 4}$$

Em que: q_e é a quantidade adsorvida por massa de adsorvente (mg/g); K_f é a constante de Freundlich relacionada com a capacidade de adsorção (mg/L); n é o expoente de Freundlich (adimensional); e C_e é a concentração de equilíbrio (ppm).

Vale ressaltar que em estudos deste gênero, a otimização do procedimento requer que a análise de erro seja definida, de tal forma a ser capaz de avaliar o ajuste dos dados experimentais no equilíbrio. Foi empregado para tal fim, os coeficientes de determinação (R^2) dos gráficos lineares dos modelos de Langmuir e Freundlich e o erro padrão. A partir destes dados realizou-se regressão linear, com auxílio do programa Excel, a fim de verificar o enquadramento nas isotermas de adsorção.

RESULTADOS

No que se refere aos estudos variando a massa, pH e concentração, a Tabela 1 sintetiza os resultados e, aponta em negrito, as máximas eficiências.

Tabela 1: Porcentagem de eficiência do processo biossorbitivo para cada uma das variáveis empregadas

Concentração metálica inicial (ppm)	Quantidade Mássica (g)	pH	% Eficiência		
			Cu	Zn	
0,5	0,1	2	54,00	0,001	
		7	86,60	36,3	
		10	80,40	21,7	
	1,0	1,0	2	56,90	6,6
			7	59,70	61,4
			10	64,10	63,7
	5,0	5,0	2	37,80	54,1
			7	53,20	24,7
			10	31,80	22,6
1,0	0,1	2	83,00	48,3	
		7	84,10	58,9	
		10	75,95	54,6	
	1,0	1,0	2	64,25	65,2
			7	92,95	76,2
			10	75,85	68,7
	5,0	5,0	2	51,10	57,7
			7	65,05	57,1
			10	65,10	58,55
5,0	0,1	2	64,27	69,98	
		7	75,93	75,15	
		10	64,31	74,74	
	1,0	1,0	2	68,84	71,56
			7	73,15	80,46
			10	73,14	81,64
	5,0	5,0	2	79,43	76,21
			7	84,20	78,79
			10	86,13	83,49

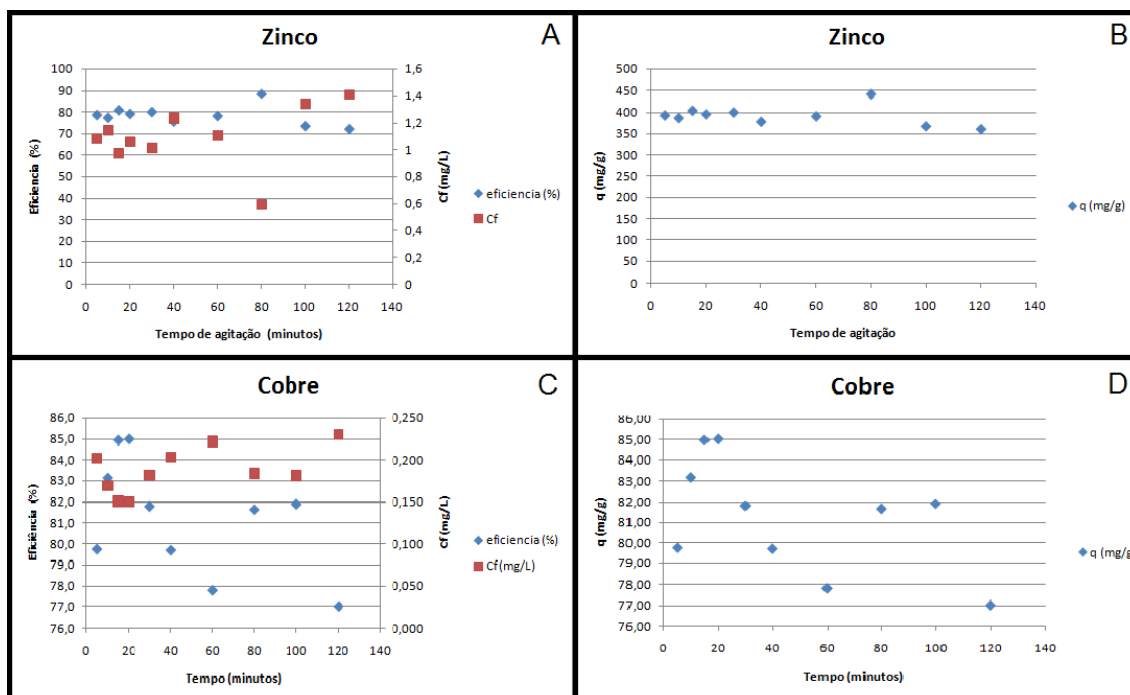
De modo geral, notou-se que para os metais estudados o tratamento respondeu melhor em pH neutro ou básico, com variações pouco expressivas entre eles. Esta resposta deve-se a queda da solubilidade dos complexos metálicos à medida que o pH aumenta. Assim, como a biosorção depende da atração do adsorvato pela superfície do sólido e do comportamento do soluto, a sorção aumenta com o pH.

Segundo Ferraz (2007), o índice covalente é uma das propriedades de maior significância estatística na correlação com capacidade máxima de biosorção, garantindo grande eficiência, e o Cu^{2+} , assim como muitos metais de transição, tem característica de ligação iônica intermediária e, por esse motivo, conseguem estabelecer ligações com um caráter covalente maior e mais forte.

Quanto ao zinco, o tratamento apresentou menor eficiência, refletindo o caráter seletivo do material biosorvente. Pode-se observar também que a eficiência de remoção do metal da solução aumentou juntamente com a concentração metálica, estabelecendo ainda uma relação entre massa, concentração e eficiência: conforme aumentava a concentração, maior era a massa necessária para o tratamento.

Para o estudo cinético, a condição de melhor eficiência do tratamento foi repetida em função do tempo. No caso do cobre, 1,0ppm, 1,0g e pH7 e para o zinco foi adotado 5,0ppm, 1,0g e pH 10. Mesmo que a situação de melhor desempenho tenha sido com 5,0g no caso do zinco, a variação na eficiência do tratamento utilizando 1,0g foi muito baixa, compensando o emprego de menor quantidade biosorvente. O Quadro 1 apresenta o comportamento dos metais em estudo, primeiramente relacionando o tempo de agitação com a porcentagem de eficiência, e depois com a taxa de adsorção por unidade de massa (q), ambas em função da concentração final metálica.

Quadro 1: Estudo cinético: A) Eficiência e concentração final do zinco B) taxa de adsorção por unidade de massa do zinco. C) Eficiência e concentração final do cobre D) taxa de adsorção por unidade de massa do cobre.



Fonte: Autor, 2016.

No Quadro 1, nas imagens A e C, foi possível perceber que à medida que a eficiência aumenta a concentração metálica da matriz líquida diminui, atingindo a melhor eficiência com tempo de 20 minutos, sendo que o zinco apresentou dois picos de máxima retenção: a 20 e a 80 minutos. Notou-se também que após atingir o ponto de adsorção máxima, a eficiência diminui. Estes fatores podem ser explicados pelo fato de a adsorção ocorrer preferencialmente na superfície do material adsorvente, e depois seguir em uma etapa mais lenta, onde acontece a adsorção intrapartícula.

Quanto a análise das isotermas de adsorção, os resultados referentes à concentração no equilíbrio, taxa de adsorção por unidade de massa e eficiência de remoção estão apresentados na Tabela 2. Esses dados, aliados a análise de erro e coeficiente de determinação (R^2) (Tabela 3), possibilitaram a análise de enquadramento nas isotermas de Langmuir ou Freundlich.

Tabela 2: Resultados nas condições de equilíbrio.

Metal	Concentração inicial (ppm)	Concentração de equilíbrio (ppm)	Taxa de adsorção por unidade de massa (mg/g)	Eficiência de remoção (%)
Cu	0,5	0,20	29,85	59,70
	1,0	0,07	92,95	93,00
	2,0	0,31	168,6	84,30
	3,0	0,74	226,1	75,37
	4,0	0,85	314,8	78,70
	5,0	1,34	365,75	73,20
Zn	0,5	0,18	31,85	63,70
	1,0	0,31	68,70	68,70
	2,0	0,57	142,50	71,25
	3,0	0,75	225,25	75,08
	4,0	0,88	311,95	77,99
	5,0	0,92	408,20	81,64

Tabela 3: Coeficientes de determinação e respectivo erro para cada isoterma

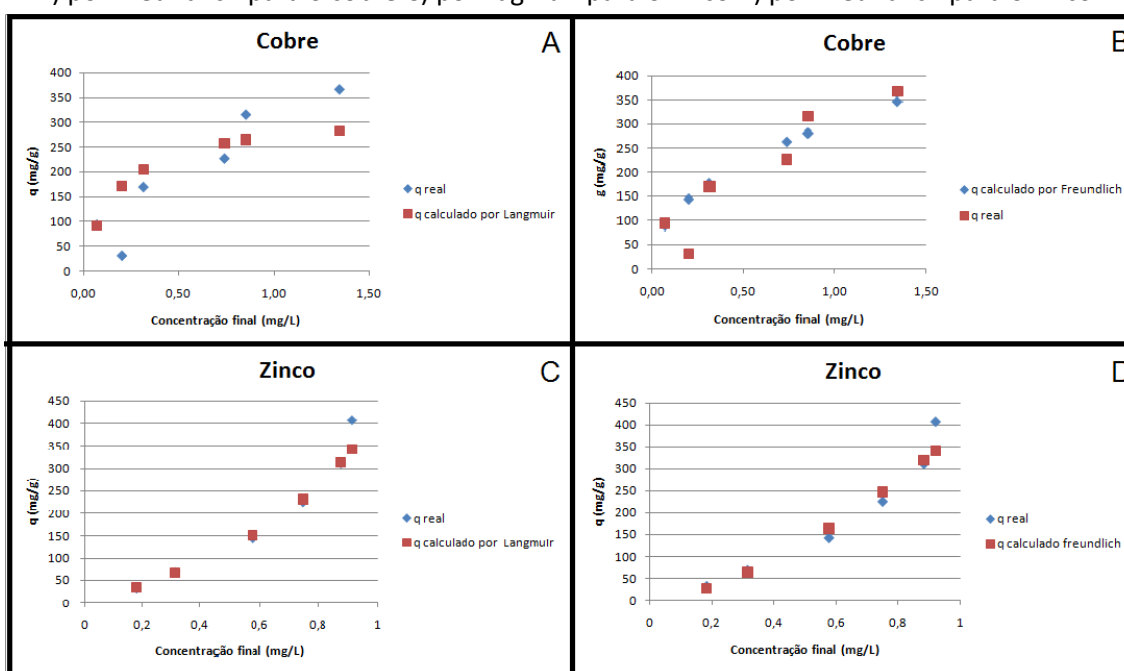
Metal	Langmuir		Freundlich	
	R ²	Erro	R ²	Erro
Cobre	0,942	0,0009	0,964	0,0521
Zinco	0,995	0,0003	0,965	0,0653

Como o valor de erro obtido foi baixo, para ambas a isotermas, comprovou-se a validade dos dados apresentados. Notou-se ainda que, segundo o parâmetro R² o cobre se enquadrou mais precisamente na isoterma de Freundlich e o zinco na de Langmuir. Outra forma de analisar o comportamento das isotermas de adsorção é comparando a taxa de adsorção por unidade de massa (q) experimental e calculada linearmente segundo o modelo de Langmuir e Freundlich (Quadro 2).

Dessa forma, obteve-se o enquadramento da retenção de íons cobre ao modelo de isoterma elaborado por Langmuir, com curvatura convexa extremamente favorável ao processo, de acordo com a classificação proposta por Mc Cabe et al. (2003). Enquanto que a curva gerada para íon zinco obteve melhor ajuste à isoterma de Freundlich, seguindo o comportamento do tipo C, de acordo com a classificação de Giles et al (1960), correspondendo a uma partição constante do soluto entre a solução e o adsorvente, dando à curva um aspecto linear. Este tipo de curva é favorecido por substratos porosos flexíveis e regiões de diferentes graus de solubilidade para o soluto.

A adequação a isoterma de Langmuir na bioadsorção de cobre levou a crer que o comportamento deste metal seguiu as proposições desta isoterma, quais sejam: o soluto é adsorvido como uma monocamada na superfície homogênea do adsorvente, sendo que as moléculas adsorvidas não estão livres para se mover na superfície do mesmo; todos os sítios de adsorção são energeticamente idênticos e podem abrigar apenas uma espécie adsorvente; não há interação entre as espécies adsorventes.

Quadro 2: Comparativo entre a taxa de adsorção real e calculada. A) por Langmuir para o cobre B) por Freundlich para o cobre C) por Langmuir para o zinco B) por Freundlich para o zinco.



Fonte: Autor, 2016.

Para ambos os metais analisados, o tratamento enquadrou-se nas condições de lançamento de efluentes estabelecido pela Resolução CONAMA nº430/2011 (BRASIL, 2011). Para o cobre, a concentração máxima permitida para lançamento é de 2,0mg/L, assim o tratamento proposto enquadrou o lançamento para 5,0ppm com 5,0g, a pH 7 ou 10. Já para o zinco, o máximo permitido é de 5,0mg/L, e por isso em todas as situações – de massa, concentração e pH - o lançamento do efluente se enquadra nas normas legislativas.

CONCLUSÃO

Pode-se comprovar a capacidade bioadsorvente da casca de maracujá amarelo na retenção dos íons de cobre e zinco, alcançando, respectivamente, 92,95% e 83,49% de eficiência. Para ambos os metais, estimaram-se as condições ótimas como: 1,0g de massa bioadsorvente, pH 7 ou 10, e 20 minutos de agitação. Os íons de cobre apresentaram melhor ajuste à isoterma de

Langmuir e os de zinco à de Freundlich. Quanto à normativa, ambos os metais estudados se enquadraram nas condições de lançamento de efluentes estabelecido pela Resolução CONAMA nº430/2011 (BRASIL, 2011).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro e institucional da pesquisa (Processo FAPESP nº 2015/09170-1).

REFERÊNCIAS

BORGES, E. R. **Remoção do corante reativo azul 5g através de processo de separação por membranas e adsorção com carvão ativado**. 2006. 115 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Maringá. Maringá-PR. 2006.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (**CONAMA**). Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/propresol_lanceflue_30e31mar11.pdf> Acesso em 06 de maio de 2016.

CEPLAC. COMISSÃO EXECUTIVA DE PLANEJAMENTO DA LAVOURA CACAUEIRA. **Maracujá**. 2007. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/maracuja.htm>> Acesso em: 01/05/2016.

CORDOVA, K. R. V.; GAMA, T. M. M. T. B.; WINTER, C. M. G.; KASKANTZIS NETO, G.; FREITAS, R. J. S. Características físico-químicas da casca do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis Flavicarpa Degener*) obtida por secagem. **Boletim do CEPPA**. Curitiba – PR. v. 23, n. 2, p. 221-230. 2005.

FERRAZ, A. **Utilização de sub-produtos da indústria cervejeira na remoção de crómio trivalente de soluções aquosa**. 2007. 105 f. Dissertação (graduação) em Engenharia Química e Biológica. Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

FIORENTIN, D. E. **Remoção de corante de efluentes da indústria têxtil utilizando processos com membranas e adsorção em bagaço de laranja**. 2009. 142 f. Dissertação (Doutorado), Universidade Estadual de Maringá (UEM). Maringá-PR.

GILES, C. H.; MACEWAN, T. H.; NAKHUA, S. N.; SMITH, D. Studies in adsorption. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids. **Journal of the Chemical Society**. London. p. 3973-3993, 1960

KRAEMER, M. E. P. A questão ambiental e os resíduos industriais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., 2005., Porto Alegre - RS. Brasil **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2005.



MCCABE, W.L., SMITH, J.C., HARRIOT, P. **Units operations of chemical engineering**. Editora McGraw Hill, 5a. ed., p. 810-821, 1993.

MENEZES, M. **Remoção do corante reativo azul 5g a partir de soluções aquosas utilizando o bagaço do maracujá amarelo como adsorvente**. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Maringá (UEM). Maringá – PR. Fevereiro.

PINHEIRO, E. **Pectina da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*): otimização da extração com ácido cítrico e caracterização físico-química**. 2007. 79 f. Dissertação (Pós Graduação) em ciência dos alimentos na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis – SC.

VAGHETTI, J.C.P. **Utilização de Biossorvente para Remediação de Efluentes Aquosos Contaminados com Íons Metálicos**. 2009. 84 p. Dissertação (Doutorado em química) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

VIEIRA, B.; BRAGA, D. M.; JESUS, T. A. Biossorção de Cd (II) utilizando casca de laranja como substrato. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 10, 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 2014, p. 4.

VILAR, V. J. P. **Remoção de íons metálicos em solução aquosa por resíduo da indústria de extração de Agar**. 2006. 512f. Dissertação (Trabalho de graduação em engenharia química) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Porto – Portugal.