

III-436 – UTILIZAÇÃO DA CASCA DE OVO PARA ADSORÇÃO DE ÍONS Cd^{2+} e Cr^{3+}

Suelen Payer Carminati⁽¹⁾

Engenheira Química pela Faculdades Integradas de Aracruz. Bolsista de pesquisa do CNPq.

Lais Fioreti Espinosa

Engenheira Química pela Faculdades Integradas de Aracruz. Analista júnior de TPM na Leão Alimentos.

Thais Campagnaro Crevelin

Engenheira Química pela Faculdades Integradas de Aracruz. Analista Química do STEC na Fibria Celulose S/A.

Thaynara Coradini Pin

Engenheira Química pela Faculdades Integradas de Aracruz. Mestranda em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (FEQ/Unicamp).

Flávia Pereira Puget

Engenheira Química pela Universidade Federal e Rural do Rio de Janeiro. Mestre e Doutora em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Professora do Instituto Federal do Espírito Santo IFES/Aracruz.

Endereço⁽¹⁾: Avenida 14 de Setembro, 128 - São Sebastião - Rio Bananal - ES - CEP: 29920-000 - Brasil - Tel: (27) 992499087 - e-mail: sussucarminati@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho analisou tecnicamente a viabilidade da remoção de Cd^{2+} e Cr^{3+} , utilizando como bioissorvente cascas de ovos, visto que esta é uma matéria-prima abundante e que apresenta baixo custo. Para isso as cascas foram inicialmente lavadas, secas em estufa e moídas em moinho de facas, obtendo-se assim o adsorvente. Em seguida foram realizados os ensaios de adsorção variando a concentração inicial da solução de metal pesado (1, 2 e 4 ppm) e a temperatura (25, 50 e 75°C). Nos ensaios puderam ser observadas altas remoções (em média 98% para Cd^{2+} e 94% para Cr^{3+}). A fim de se comparar os resultados, os mesmos ensaios de adsorção foram realizados com carvão ativado. Nos ensaios utilizando o bioissorvente estudado não foram observadas influências significativas na remoção dos metais ao variar a temperatura e a concentração, entretanto para os ensaios onde o carvão ativado foi utilizado, ocorreu um decréscimo mais acentuado no percentual de remoção à concentração mais elevada (4 ppm). Com isso, pode-se concluir que a casca de ovo apresentou uma capacidade de remoção de íons Cd^{2+} e Cr^{3+} promissora, podendo ser aplicados no tratamento de águas residuais.

PALAVRAS-CHAVE: Casca de ovo, Bioissorvente, Cádmio, Cromo.

INTRODUÇÃO

A produção mundial de ovos atingiu um recorde de 65,5 milhões de toneladas em 2013. A expansão anual, entre 2000 e 2010, foi em média acima de 2%, passando de 51 para 63,8 milhões de toneladas. (AVICULTURA INDUSTRIAL, 2013). Neste contexto, o Brasil ocupa o 5º lugar de maior produtor mundial de ovos, e a 8ª posição de consumo, entre os países latinos americanos, chegando a quantidade de 6,8 kg per capita por ano. (ARAÚJO, 2012).

Tal aumento na produção se explica pelo fato de os ovos de galinha serem amplamente utilizados na indústria de alimentos devido as suas propriedades nutricionais. A industrialização de ovos gera vantagens econômicas, como a extensão da vida útil do produto, facilidades no transporte e na conservação do mesmo, porém aumenta expressivamente o número de cascas, estas representam em média 10% do peso do ovo e o resíduo gerado corresponde a cerca de 5,92 milhões de toneladas por ano em todo o mundo. (OLIVEIRA, BENELLI e AMANTE 2009). Esse resíduo, embora não seja perigoso, na maioria das vezes é eliminado diretamente no ambiente, ocasionando um enorme problema de poluição ambiental e de saúde pública, já que ele pode atrair pragas, bem como promover a proliferação microbiana, devido a sua matriz orgânica (FREIRE e HOLANDA, 2006).

Atualmente, este resíduo, que é uma fonte de carbonato de cálcio, é muito utilizado na agricultura, porém pode ser utilizado também como base para desenvolvimento de produtos na indústria cosmética, suplementos alimentares, bases biocerâmicas, fertilizantes, implantes ósseos e dentários. (MURAKAMI, 2006 apud OLIVEIRA, BENELLI e AMANTE, 2009). Alguns aspectos ambientais também devem ser considerados na valorização das cascas de ovos, como a diminuição do descarte de resíduos no ambiente e a diminuição do impacto sobre as reservas naturais de rocha calcária, já que este resíduo pode ser utilizado como uma fonte alternativa de carbonato de cálcio.

Além disso, algumas pesquisas também apontam a casca de ovo como um promissor biossorvente para a remoção de poluentes, em águas residuais (OLIVEIRA, BENELLI e AMANTE, 2009). Onde este pode ser usado na técnica de adsorção, um processo no qual componentes presentes em um fluido, são adsorvidos na superfície de um sólido (McCABE et al., 2001). A adsorção é um processo efetivo para a remoção de metais pesados de soluções, sendo dependente de fatores físico-químicos, como interação adsorvente/adsorvato, área superficial, concentração, temperatura e pH (NASCIMENTO e SILVA, 2014).

Metais pesados são substâncias tóxicas que geralmente são de difícil eliminação na maioria dos tratamentos de efluentes existentes. Com isso, efluentes contendo esses metais não devem ser descartados na rede pública. Mesmo em baixas concentrações, os cátions de metais pesados, uma vez lançados num corpo receptor, sofrem o efeito de bioacumulação. Isso ocorre devido ao fato de esses compostos não integrarem com o ciclo metabólico dos organismos vivos, sendo neles armazenados e, com isso sua concentração é altamente ampliada nos seres vivos que integram a cadeia alimentar do ecossistema (AGUIAR e NOVAES, 2002).

Diante disso, este trabalho visa estudar a viabilidade técnica de remoção de cádmio (Cd^{2+}) e cromo (Cr^{3+}), utilizando cascas de ovos, como biossorventes, já que essa matéria-prima apresenta alta disponibilidade e baixo custo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Química III (Giuseppe Cilento) do Curso de Engenharia Química das Faculdades Integradas de Aracruz (FAACZ) e os testes de absorção atômica foram realizados em laboratório particular de análises físico-químicas. As cascas de ovos para a realização dos ensaios foram disponibilizadas por uma panificadora local. Para as análises de adsorção foram utilizados dois adsorventes: a casca de ovo produzida e o carvão ativado (Marca Cromoline – Química Fina), que foi utilizado para fins de comparação devido a sua ampla utilização industrialmente e todos os testes foram realizados em triplicata a fim de se obter resultados mais confiáveis.

Para a obtenção do adsorvente as cascas de ovos foram inicialmente lavadas em água corrente e depois mergulhadas em água destilada por várias vezes, a fim de retirar as impurezas. Em seguida as cascas foram secas em estufa (marca Quimis, modelo Q317B), a 105 °C, por duas horas. Elas foram moídas em moinho de facas (marca Adamo, modelo 340), obtendo-se um tamanho médio de partículas menor que 0,4 mm, caracterizando o adsorvente 1 (AHAMAD, et al., 2012). As cascas moídas foram armazenadas em sacolas de polipropileno e temperatura ambiente para posterior utilização no processo de adsorção.

As soluções aquosas de cádmio (Cd^{2+}) e cromo (Cr^{3+}) foram preparadas por meio de diluição a partir de soluções padrão de 1000 ppm (*Quemis High Purity*) e água desmineralizada, obtendo-se as concentrações desejadas (1, 2 e 4 ppm).

ENSAIOS DE ADSORÇÃO

Baseado nas metodologias de Arunlertareet al., (2007), Ahmad et al., (2012) e Nagdi e Jusoh, (2013) os ensaios de adsorção foram realizados em batelada, utilizando em torno de um grama de amostra de adsorvente e 100 mL da solução aquosa de cádmio ou cromo. Essa mistura, disposta em um Erlenmeyer de 250 mL, foi colocada em um *shaker* adaptado em banho Maria, por um tempo de 60 minutos, controlando-se a temperatura.

Segundo Arunlertaree et al., (2007) e Nagdi, Ee, e Yusoff, (2013), os experimentos foram realizados variando-se as condições de temperatura (25, 50 e 75 °C), e as concentrações, separadamente, de cádmio (Cd^{2+}) e cromo

(Cr³⁺) (1, 2 e 4 ppm), conforme apresentado na Tabela 1. Foram realizados testes utilizando casca de ovo e carvão ativado.

Após o término de cada experimento, a suspensão foi filtrada por filtração simples, utilizando papel de filtro de 125 mm (Marca Unifil) e as concentrações de metais pesados no filtrado foram analisadas por espectrofotometria de absorção atômica (Spectra AA, 20Plus).

Tabela 1 - Parâmetros de realização dos ensaios

Metal pesado	Concentração da solução (mg/L)	Tempo de contato (min)	Temperatura (°C)
Cádmio (Cd ²⁺)	1, 2, 4	60	25, 50, 75
Cromo (Cr ³⁺)	1, 2, 4	60	25, 50, 75

Fonte: Adaptado de Ngadi e Jusoh (2013); Ngadi, Ee e Yusoff (2013).

ESTUDO DAS ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

Conforme Nagdi e Jusoh (2013), a capacidade de adsorção do adsorvente, q_e (mg/g), para metais pesados pode ser calculada, como mostrado na Equação 1.

$$q_e = \frac{(C_i - C_f)V}{m} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde, C_i e C_f são as concentrações inicial e final do metal pesado em mg/L, respectivamente, V é o volume da solução de metal pesado utilizado no experimento, em L, e m é a quantidade de adsorvente em g.

A eficiência de remoção do metal pesado, η (%), pode ser obtida pela Equação 2.

$$\eta = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

Os modelos das isotermas de Langmuir e Freundlich foram aplicados aos dados experimentais para adsorção de cádmio (Cd²⁺) e cromo (Cr³⁺) pelas amostras de casca de ovo e carvão ativado. A Equação 3 apresenta a forma linearizada equação de Langmuir.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{k \cdot b} + \frac{C_e}{b} \quad \text{Eq. (3)}$$

O gráfico de C_e/q_e versus C_e , onde q_e é o mesmo explicado anteriormente e C_e é a concentração do metal na solução de equilíbrio (mg/g), permite obter a isoterma de Langmuir, sendo b e k determinados a partir dos coeficientes angular e linear, respectivamente.

Já a equação de Freundlich na sua forma linear é expressa pela Equação 4. Desta forma, o gráfico de $\ln(q_e)$ versus $\ln(C_e)$ permite determinar os parâmetros desse modelo (k_f e n) a partir dos coeficientes linear e angular da reta, respectivamente.

$$\ln(q_e) = \ln(k_f) + \left(\frac{1}{n}\right) \ln(C_e) \quad \text{Eq. (4)}$$

RESULTADOS

ENSAIOS DE ADSORÇÃO

Após os ensaios de adsorção utilizando a casca de ovo e o carvão ativado, os resultados obtidos foram dispostos nas Tabelas 2 e 3, respectivamente, nas quais é possível observar a concentração final de metal pesado em mg/L, o desvio padrão médio associado e o percentual de remoção de cádmio (Cd²⁺) e cromo (Cr³⁺) para os adsorventes estudados, às três temperaturas e às três concentrações iniciais diferentes.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de adsorção para casca de ovo.

Temp. (°C)	Conc. Inicial (mg/L)	Casca de ovo			
		Cádmio (Cd ²⁺)		Cromo (Cr ³⁺)	
		Conc. Final (mg/L)	Remoção (%)	Conc. Final (mg/L)	Remoção (%)
25	1	0,013 ± 0,002	98,69	0,044 ± 0,008	94,86
	2	0,0285 ± 0,0005	98,51	0,14 ± 0,02	91,83
	4	0,09 ± 0,01	97,47	0,36 ± 0,02	89,76
50	1	0,0103 ± 0,0004	98,77	0,032 ± 0,003	96,91
	2	0,0413 ± 0,0001	97,72	0,057 ± 0,003	96,98
	4	0,072 ± 0,003	98,02	0,190 ± 0,008	94,78
75	1	9.10 ⁻³ ± 0,01	98,89	0,06 ± 0,03	93,86
	2	0,0133 ± 0,0009	99,26	0,058 ± 0,004	96,96
	4	0,028 ± 0,003	99,24	0,113 ± 0,008	96,91

Tabela 3- Resultados dos ensaios de adsorção para carvão ativado.

Temp. (°C)	Conc. Inicial (mg/L)	Carvão ativado			
		Cádmio (Cd ²⁺)		Cromo (Cr ³⁺)	
		Conc. Final (mg/L)	Remoção (%)	Conc. Final (mg/L)	Remoção (%)
25	1	0,009 ± 0,002	99,15	0,002 ± 0,001	98,29
	2	0,044 ± 0,002	97,83	0,066 ± 0,002	95,99
	4	0,636 ± 0,005	83,90	0,83 ± 0,02	78,34
50	1	0,0075 ± 0,0005	99,33	0,0285 ± 0,0005	96,76
	2	0,026 ± 0,004	98,73	0,052 ± 0,001	96,82
	4	0,70 ± 0,04	82,31	0,95 ± 0,03	75,36
75	1	0,008 ± 0,001	99,29	0,034 ± 0,004	96,13
	2	0,03 ± 0,01	98,47	0,0415 ± 0,0005	97,46
	4	0,65 ± 0,07	83,48	0,740 ± 0,001	80,80

A casca de ovo apresentou bons resultados, obtendo uma remoção em torno de 94%. Um parâmetro avaliado foi o efeito da variação da temperatura, entretanto, para os ensaios realizados, não foi possível observar uma influência significativa desse parâmetro, no percentual de remoção de cádmio (Cd²⁺) e cromo (Cr³⁺). Segundo Nagdi e Jusoh (2013), a elevação da temperatura da solução pode proporcionar um aumento da mobilidade dos íons metálicos. Como resultado, os íons obtêm energia suficiente para mover-se para a superfície do adsorvente, interagindo com sua estrutura. Chojnacka (2005) também avaliou a adsorção da casca de ovo variando a temperatura (entre 20 e 60 °C), utilizando cromo (Cr³⁺) e seu melhor resultado foi obtido a 20 °C, removendo 66% de cromo. Já Ahmad et al., (2012) alcançaram resultados superiores a 80% para remoção de cádmio, utilizando a temperatura de 25 °C.

A concentração de adsorvato é um parâmetro que também pode influenciar na adsorção. Como pode ser observado nas Tabelas 1 e 2, a casca de ovo não mostra diferença significativa na remoção dos metais pesados, ao variar a concentração inicial, apresentando valores superiores a 90%. Já o carvão ativado, nas concentrações de 1 e 2 ppm, apresentou valores próximos aos encontrados para a casca de ovo. Entretanto, quando se utilizou uma concentração de 4 ppm, ele apresentou uma capacidade inferior de remoção. Este fenômeno poderia ser explicado pela saturação dos sítios de adsorção, como defendem alguns autores como

Leonel et al., (2012), porém, geralmente isso ocorre a altas concentrações, o que não foi o caso do presente trabalho, que utilizou baixas concentrações iniciais, logo acredita-se que não tenha ocorrido essa saturação de sítios.

Nos ensaios realizados utilizando a casca de ovo, não foi possível observar um decréscimo significativo de remoção com o aumento das concentrações dos metais, já que essas eram muito baixas. Isso confirma os resultados encontrados por Ahmad et al., (2012) que dizem que a saturação dos sítios da casca de ovo ocorre aproximadamente a uma concentração de 150 ppm para cádmio (Cd^{2+}) e 75 ppm para cromo (Cr^{3+}).

ISOTERMAS

Os dados de C_e/q_e versus C_e foram plotados, utilizando a Equação 3, e os gráficos obtidos permitiram a obtenção dos parâmetros b e k , do modelo de Langmuir, contidos na Tabela 4. Onde b é a capacidade máxima de adsorção, k a constante relacionada com a energia de ligação e R^2 que representa a qualidade do modelo investigado.

Tabela 4- Parâmetros do modelo de Langmuir para a adsorção dos metais Cd^{2+} e Cr^{3+} , usando os dois adsorventes e as temperaturas investigadas.

Metal	Temperatura (°C)	Adsorvente	b (mg/g)	k (L/g)	R^2
Cádmio (Cd^{2+})	25	Casca de ovo	17,094	0,025	0,847
	50		10,132	0,044	0,338
	75		24,331	0,019	0,255
	25	Carvão ativado	20,619	0,017	0,998
	50		31,949	0,010	0,999
	75		27,933	0,011	0,999
Cromo (Cr^{3+})	25	Casca de ovo	3,539	0,105	0,768
	50		7,788	0,053	0,786
	75		7,457	0,041	0,309
	25	Carvão ativado	9,260	0,033	0,996
	50		7,640	0,040	0,996
	75		6,969	0,047	0,988

Pode-se observar na Tabela 4 que não foram encontrados valores de b e k negativos, entretanto, os resultados de R^2 obtidos da equação linearizada de Langmuir para a casca de ovo foram baixos, indicando que o modelo não representa bem os dados experimentais para esse adsorvente. Os valores de R^2 para o carvão ativado mostram uma adequação ao modelo apresentado. Os baixos valores de R^2 , não significam que a capacidade de remoção não foi boa, eles apenas indicam que o modelo escolhido não representa bem os dados.

O outro parâmetro analisado foi a capacidade máxima de adsorção (b), que são úteis para a comparação do potencial de adsorção (AHMAD et al., 2012). Os melhores resultados de b foram obtidos para o carvão ativado, com valores de 31,949 e 27,933 (mg/g), na adsorção de cádmio (Cd^{2+}). Isso se deve ao fato do carvão ativado apresentar uma maior superfície de contato entre o íon do metal e do carvão. A casca de ovo apresentou tamanho de partícula inferior a 0,4 mesh, sendo maior que o carvão ativado comercial. O maior valor de b encontrado por Ahmad et al., para a adsorção de cádmio utilizando casca de ovo, foi condizente com o obtido nos ensaios realizados neste trabalho.

Os valores de k (constante de energia de ativação) apresentam o adsorvente casca de ovo como o que melhor se adequa ao modelo. Os altos valores de energia de ativação demonstram que a maior parte dos sítios de adsorção é de alta afinidade com o metal, o que aumenta sua fixação na casca e reduz sua movimentação e redistribuição no meio.

Já as isotermas de Freundlich foram plotadas utilizando-se a Equação 6, e os parâmetros obtidos a partir desses modelos são apresentados na Tabela 4, onde k_f é a constante de capacidade de adsorção de Freundlich, n é a constante de intensidade e os valores de R^2 que representam a adequação do modelo investigado aos dados experimentais.

Tabela 5- Parâmetros do modelo de Freundlich para a adsorção dos metais Cd^{2+} e Cr^{3+} , usando os dois adsorventes e as temperaturas investigadas.

Metal	Temperatura (°C)	Adsorvente	N	k_f	R^2
Cádmio (Cd^{2+})	25	Casca de ovo	1,916	1,082	0,981
	50		1,836	1,104	0,964
	75		2,162	1,133	0,849
	25	Carvão ativado	2,600	0,647	0,834
	50		2,906	0,630	0,801
	75		2,785	0,637	0,814
Cromo (Cr^{3+})	25	Casca de ovo	1,248	0,848	0,974
	50		1,552	1,015	0,990
	75		1,448	1,074	0,849
	25	Carvão ativado	2,166	0,574	0,801
	50		2,049	0,558	0,763
	75		1,909	0,618	0,802

Para o modelo de Freundlich pode-se observar, na Tabela 5, que não foi encontrado nenhum valor de n e k_f negativos. Os valores de R^2 oriundos da equação linearizada de Freundlich demonstraram um bom ajuste dos dados para a casca de ovo, adequando-se bem aos modelos experimentais em estudo. O mesmo não aconteceu utilizando o carvão ativado, que apresentou baixos valores de R^2 .

Segundo o Arunlertaree et al., (2007) o valor de k_f pode ser comparado à eficiência de remoção de cada adsorvente. Esse parâmetro sugere alta adsorção do metal pesado e indica grande capacidade do adsorvente em reter o metal utilizado. A casca de ovo alcançou o mais alto valor de k_f , valores que se encontram condizentes com os de Arunlertaree et al., (2007) e Ahmad et al., (2012).

O último parâmetro analisado da equação linearizada é o n . Os valores de n menores que 1 indicam que a adsorção é desfavorável, e maiores que 1, que a adsorção é favorável, pois a energia de adsorção é reduzida com o aumento da superfície de contato.

Os dois adsorventes utilizados apresentaram valores para uma adsorção favorável, sendo esses resultados encontrados próximos aos dos autores Arunlertaree et al., (2007), que encontraram todos seus valores em torno de 1,55.

Diante disso, após a análise do R^2 , nota-se que a isoterma de Langmuir não demonstra um bom ajuste desse modelo para a casca de ovo, ao passo que a isoterma de Freundlich mostra uma boa adequação dos dados experimentais para esse adsorvente.

Para melhor visualização dos resultados obtidos também foram construídas isotermas de Langmuir e Freundlich para os dois adsorventes utilizados, utilizando as três temperaturas de trabalho empregadas, que estão apresentadas nas Figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

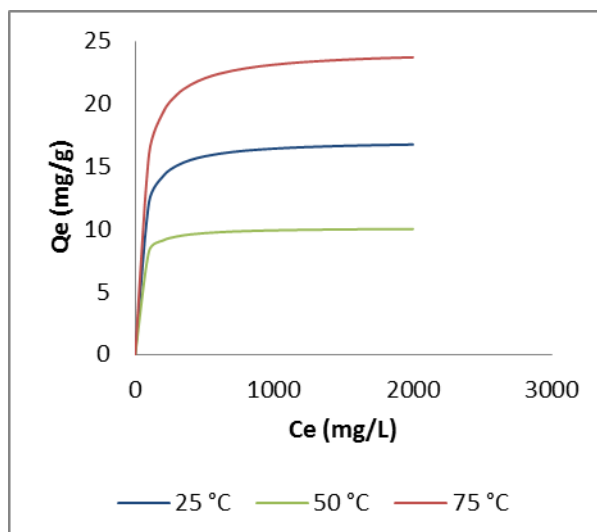


Figura 1: Isotermas de Langmuir utilizando casca de ovo como adsorvente e Cd^{2+} para as três diferentes temperaturas .

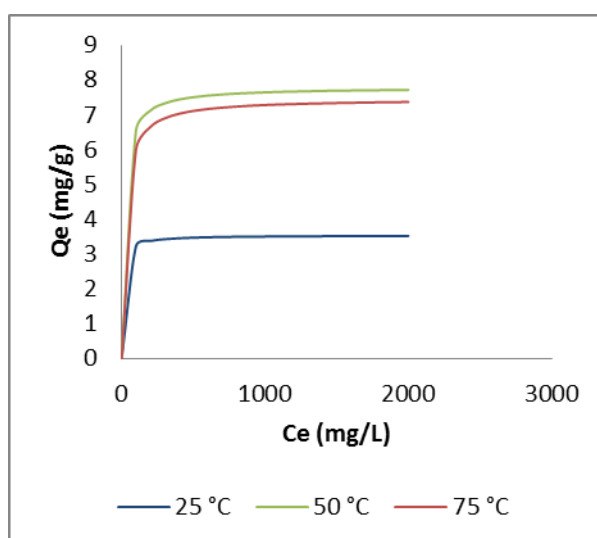


Figura 2: Isotermas de Langmuir utilizando casca de ovo como adsorvente e Cr^{3+} para as três diferentes temperaturas

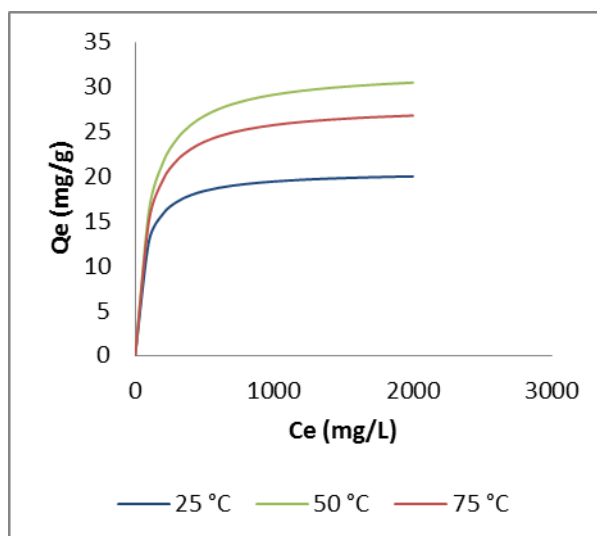


Figura 3: Isotermas de Langmuir utilizando carvão ativado como adsorvente e Cd^{2+} para as três diferentes temperaturas

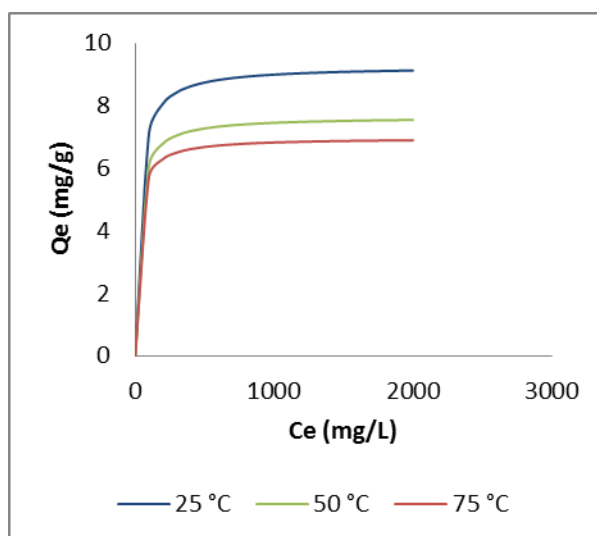


Figura 4: Isotermas de Langmuir utilizando carvão ativado como adsorvente e Cr^{3+} para as três diferentes temperaturas.

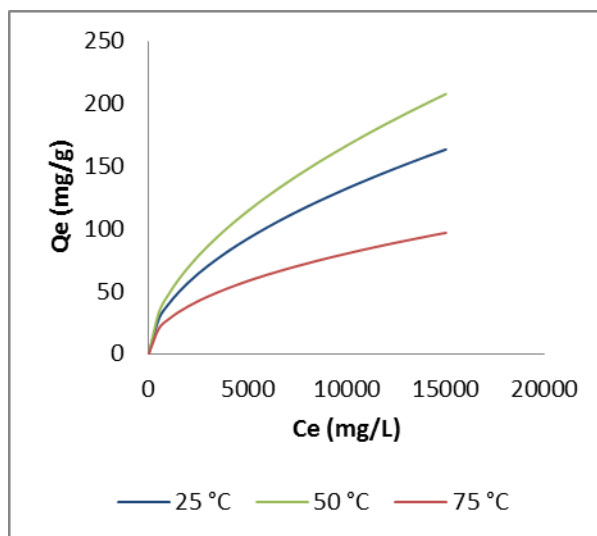


Figura 5: Isotermas de Freundlich utilizando casca de ovo como adsorvente e Cd^{2+} para as três diferentes temperaturas.

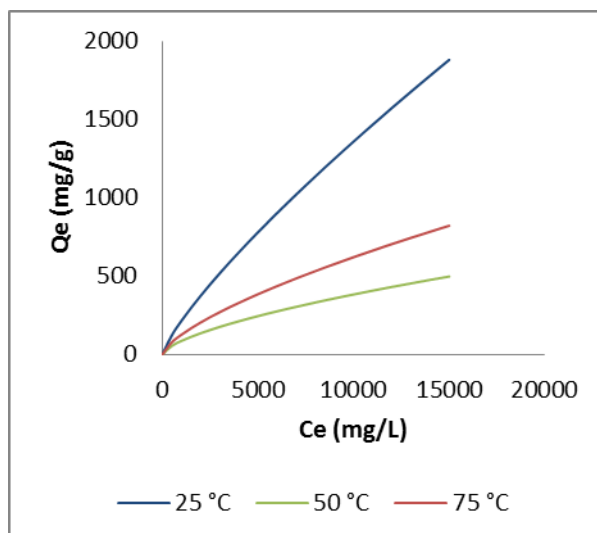


Figura 6: Isotermas de Freundlich utilizando casca de ovo como adsorvente e Cr^{3+} para as três diferentes temperaturas.

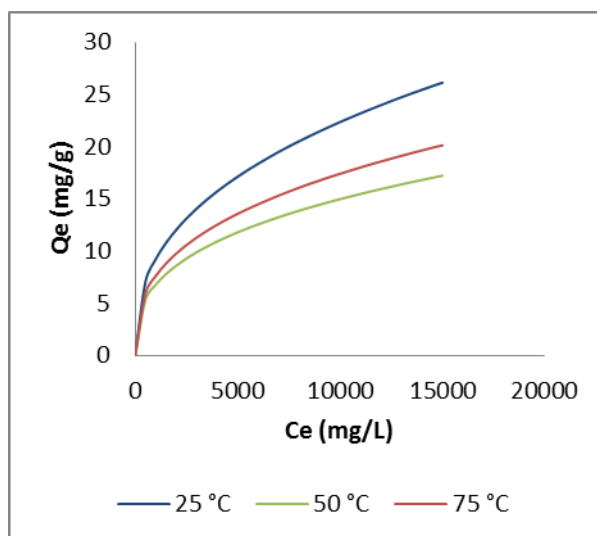
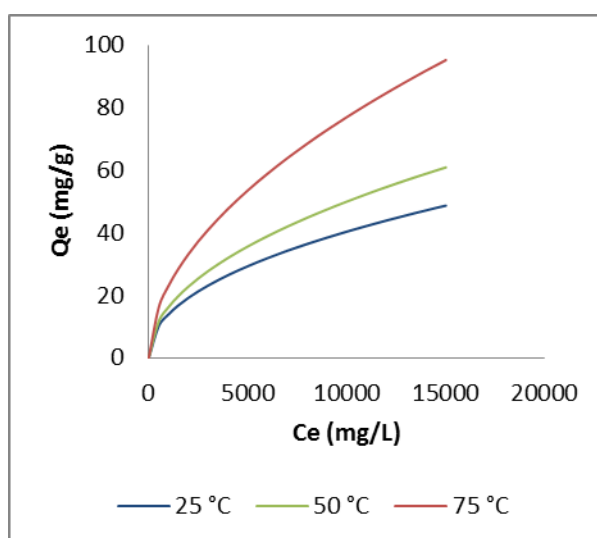


Figura 7: Isotermas de Freundlich utilizando carvão ativado como adsorvente e Cd^{2+} para as três diferentes temperaturas



Figuras 8: Isotermas de Freundlich utilizando carvão ativado como adsorvente e Cr^{3+} para as três diferentes temperaturas

Ao se analisar os modelos das isotermas de Langmuir e Freundlich utilizando a casca de ovo como adsorvente pode-se observar que à temperatura de 75°C, ambas isotermas demonstraram boa capacidade de remoção, em relação às outras temperaturas. Isso resultou em isotermas mais favoráveis a uma maior temperatura, demonstrando que na maior temperatura o adsorvente é capaz de extrair quantidades relativamente altas de adsorvato, mesmo quando esse se encontra em baixas concentrações no fluido. Isso corrobora com o que Ngadi, Ee e Yusoff (2013) afirmaram que a elevação da temperatura da solução pode proporcionar um aumento da mobilidade dos íons metálicos, resultando na facilidade para mover-se para a superfície do adsorvente e na interação com sua estrutura.

Ao se analisar as isotermas utilizando o carvão ativado como adsorvente, percebe-se que em ambas as temperaturas, são refletidas de forma semelhante, isotermas favoráveis, indicando também que ele é capaz de extrair quantidades relativamente altas, mesmo em baixas concentrações do adsorvato.

Para o desenvolvimento desse trabalho foram utilizadas as concentrações de 1, 2 e 4 ppm, baseadas nas concentrações encontradas usualmente em efluentes industriais e nas concentrações recomendadas pelo CONAMA 430/2011 para água potável e para descarte de efluentes. A faixa das concentrações dos metais

pesados utilizada não foi suficientemente alta para que se pudesse observar uma adequação ou favorecimento das isotermas construídas e provocar a saturação dos sítios de adsorção.

CONCLUSÕES

Com base nos estudos realizados sobre o reaproveitamento da casca de ovo como bioadsorvente de baixo custo na remoção de metais pesados, íons de Cd^{2+} e Cr^{3+} , pode-se concluir que a adsorção, utilizando tanto a casca do ovo quanto o carvão ativado, apresentou bons resultados, superiores a 75%. Entretanto, os melhores resultados obtidos foram utilizando a casca de ovo.

Analisando somente os dados obtidos de remoção dos metais pesados não foi possível observar uma diferença significativa entre eles ao se variar os parâmetros de temperatura e concentração inicial, contudo ao se construir isotermas de Langmuir e Freundlich para as três temperaturas pôde-se observar que a adsorção utilizando a casca de ovo apresentou-se mais favorável às temperaturas mais alta.

Quando comparado ao carvão ativado, amplamente utilizado na indústria, o adsorvente desenvolvido apresentou uma eficiência de remoção semelhante ao do carvão, apresentando capacidade para substituição desse adsorvente utilizado atualmente. Além disso, para a concentração de 4ppm, a casca de ovo apresentou uma remoção melhor que o carvão.

Baseado nisso, além dos bons resultados de remoção obtidos experimentalmente para casca de ovo, sua utilização como adsorvente apresenta vantagens de ampla disponibilidade e baixo custo, considerando que se tratam de resíduos, além de poder contribuir para a redução de problemas ambientais e de saúde pública e redução do impacto sobre as reservas naturais de carbonato de cálcio que são fontes não-renováveis.

Em relação às isotermas estudadas, o modelo de Freundlich representou melhor os dados experimentais desse trabalho para os dois adsorventes desenvolvidos, ao contrário do modelo de Langmuir, que não demonstrou um bom ajuste para esses adsorventes mas sim para o carvão ativado.

Estudos futuros podem ser realizados para avaliar a eficácia da casca de ovo como bioadsorvente na remoção de outros metais pesados ou corantes em efluentes contaminados. Também podem ser avaliados outros fatores que afetam a eficiência de adsorção, como o pH e o tempo de contato, ampliando a faixa de concentração inicial de metais pesados utilizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIAR, M. R. M. P., NOVAES, A. C. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. Química Nova, vol. 25, n. 6b, São Paulo, Nov.-Dez. 2002.
2. AHMAD, K., BHATTI, I. A., MUNEEB, M., IQBAL, M., IQBAL Z. Removal of heavy metals (Zn, Cr, Pb, Cd, Cu and Fe) in aqueous media by calcium carbonate as an adsorbent. International Journal of Chemical and Biochemical Sciences, 2, 48-53, 2012.
3. ARAÚJO, L. G. Produção e consumo de ovos. Portal mercado aberto, Rio Grande Norte, 2012. Disponível em: <<http://www.portalmercadoaberto.com.br/blogs-categoria-det?post=3567>>, acessado em: 23 abril, 2014.
4. AVES. Associação de avicultores do estado do Espírito Santo – Perfil da avicultura capixaba 2011 – 2012. 2009. Disponível em: <http://associacoes.org.br/site/perfilavicultura.php>, acessado em: 26 abril de 2014.
5. AVICULTURA INDUSTRIAL. Crescimento Mundial da Produção de Ovos. 2013. Disponível em: <http://www.aviculturaindustrial.com.br/noticia/crescimento-mundial-da-producao-de-ovos/20130206082401_H_918>, acessado em: 26 abril de 2014.
6. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 430/2011. Condições e padrões de lançamentos de efluentes. 2011.
7. OLIVEIRA, D. A., BENELLI, P., AMANTE, E. R. Valorização de resíduos sólidos: casca de ovos como matéria-prima no desenvolvimento de novos produtos. 2º Internacional Workshop - Advances in Cleaner Production. Key Elements For a Sustainable World: Energy, Water and Climate Change. São Paulo, 2009.
8. FREIRE, M. N., HOLANDA, J. N. F. Characterization of avian eggshell waste aiming its use in a ceramic wall tile paste. Cerâmica. Vol. 52, n. 324, São Paulo, 2006.

9. McCABE, W. L., SMITH, J. C., HARRIOT, P. Unit Operations of Chemical Engineering. McGraw Hill International Ed. ed. 6, 2001.
10. NASCIMENTO, W. O., SILVA, O. O. Adsorção de azul de metileno em manganês e greensad. Anais do X Encontro brasileiro de adsorção. Guarujá/SP, 2013.
11. ARUNLERTAREE, C., KAEWSOMBOON, W., KUMSOPA, A., POKETHITIYOOK, P., PANYAWATHANAKIT, P. Removal of lead from battery manufacturing wastewater by eggshell. Songklanakarin J. Sci. Technol., vol. 29, n. 3, Mai-Jun, 2007.
12. NAGDI, N., EE, C. C., YUSOFF, N. A. Removal of methylene blue dye by using eggshell powder. JurnalTeknologi (Science & Engineering).vol. 65:1, pag. 63-71, 2013.
13. NAGDI, N., JUSOH, W. N. S. W. Removal of ethyl orange dye using waste eggshell. Jurnal Teknologi (Science & Engineering). Vol. 64:1, pag. 2-13-101-107, 2013.
14. JAI, P. H., WOOK, J. S., KYU, Y. J., GIL, K. B., MOK, L. S. Removal of heavy metals using waste eggshell. Journal Environmental Sciences.vol.19, 1436-1441, 2007.
15. CHOJNACKA, K. Biosorption of Cr(III) ions by eggshells. Journal of Hazardous Materials. B.121, 167-173, 2005.
16. LEONEL, G. P.S., GOMES, D. P., ARAÚJO, S. S., NASCIMENTO, J. M., OLIVEIRA, J. D. Avaliação da influência da concentração e ph na adsorção de íons cádmio (ii) e chumbo (ii) pelo biossorvente casca de pequi (caryocar brasiliense camb) em sistema monoelementar. 52º Congresso brasileiro de química. Recife/PE, 2012.