

# Avaliação do Potencial Adsorptivo da Palha de Café Frente a Íons Metálicos

Maria D. A. Soares & Vanessa N. Alves

O lançamento de resíduos contendo íons metálicos, sem o devido tratamento, em corpos d'água tem se tornado cada vez mais comum. Sendo de extrema importância o desenvolvimento de métodos para tratamento desses resíduos. Este trabalho apresenta um estudo sobre o uso da palha do café como adsorvente para íons metálicos. A quantificação dos metais antes e após os experimentos de adsorção foi feita utilizando Espectrometria de Absorção Atômica por Chama (FAAS). Os resultados apontaram que a palha do café apresenta desempenho satisfatório, com capacidade máxima adsorptiva em torno de 10,12 mg g<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** *íons metálicos; café; cádmio; adsorção.*

The release of waste containing metal ions, without proper treatment, into bodies of water has become increasingly common. The development of methods to treat these residues is extremely important. This work presents a study on the use of coffee straw as an adsorbent for metal ions. The quantification of metals before and after the adsorption experiments made using Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS). The results showed that the coffee straw has a satisfactory performance, with a maximum adsorptive capacity around 10.12 mg g<sup>-1</sup>.

**Keywords:** *metallic ions; coffee; cadmium; adsorption.*

## Introdução

Íons metálicos constituem-se como poluentes, advindos principalmente de atividades antropogênicas, tais como o uso de pesticidas, fertilizantes, atividades de mineração, operações metalúrgicas, queima de combustíveis fósseis, produção de cimento, galvanoplastia, curtimento de couro, fabricação de plásticos, baterias de Ni-Cd, tintas, pigmentos, dispositivos fotovoltaicos, dentre outros<sup>1</sup>.

Uma que vez que os íons metálicos em sua maioria, apresentam elevada toxicidade, persistência e potencial bioacumulativo, e mesmo considerando-se que alguns são essenciais para organismos vivos, alguns são incluídos na lista de contaminantes prioritários como Ag, As, Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Ti e Zn<sup>1</sup>.

O cádmio apresenta grande aplicabilidade na indústria de pigmentos, além de também ser encontrado em alguns fungicidas. Seus compostos são considerados carcinogênicos, além de estar relacionado a outros diversos processos patológicos<sup>2</sup>.

Diferentes alternativas para o tratamento desse tipo de resíduo vêm sendo empregadas, podendo ser citadas a precipitação (utilizando algum produto químico), a troca iônica (empregando resinas sintéticas de troca iônica), processo de separação por membranas (em que se utilizam membranas sintéticas porosas como filtros) e o tratamento eletroquímico (corrente elétrica para desestabilizar os contaminantes no meio aquoso)<sup>3</sup>.

A adsorção tem sido uma alternativa eficiente na remoção de poluentes inorgânicos em função da sua simplicidade, viabilidade econômica, eficiência na remoção de metais e ausência de poluição secundária pela produção de substâncias nocivas durante o processo<sup>4</sup>. Ainda, em virtude da natureza reversível da maioria dos processos de adsorção, os adsorventes podem ser regenerados por processos de dessorção<sup>5</sup>.

Em processos de separação, um adsorvente com alta capacidade adsorptiva é fundamental. E essa capacidade é determinada principalmente por suas propriedades texturais. Assim, existe uma grande variedade de materiais que podem ser utilizados como adsorventes, sejam eles

materiais orgânicos, tais como carvão ativado e biomassas, bem como inorgânicos, como por exemplo zeólitas e argilas.

Materiais que não são produzidos sinteticamente e que apresentem propriedades adsorptivas de espécies químicas de origem inorgânica e orgânica, são chamados de adsorventes naturais e na maioria dos casos, são provenientes de algum processo industrial<sup>6</sup>.

Os adsorventes lignocelulósicos, por exemplo resíduos de maçã, sabugo de milho, cascas de soja, coco e amendoim entre outros, são constituídos basicamente por celulose, hemicelulose e lignina. Esses materiais possuem a habilidade de adsorver íons metálicos a partir de grupos funcionais, principalmente hidroxilas e carbonilas, que se encontram presentes em macromoléculas<sup>7</sup>.

Nesse contexto o café e seus resíduos tornam-se materiais promissores para serem utilizados no desenvolvimento de processos de adsorção.

Considerando-se que o Brasil é um dos maiores produtores e consumidores de café do mundo, uma enorme quantidade de resíduos do tipo PVA (preto, verde e ardido) são gerados, além da própria borra de café<sup>8</sup>. Além disso, no país são encontrados dois métodos para o processamento do café: via seca e via úmida, sendo mais utilizado o processamento via seca, onde os frutos são secos em sua forma integral, (café em coco). Já o café processado por via úmida é denominado de café pergaminho<sup>9</sup>.

Existem dois tipos de palha do café resultantes do tipo de fruto colhido na lavoura e do processamento, a palha do café seca e a palha do café melosa. A palha do café melosa tem como peculiaridade em relação à palha do café seca, a ausência de um componente fibroso, o pergaminho (pois este adere ao grão de café)<sup>10</sup>. Já a Palha do café seca é composta de pele seca externa, polpa e do pergaminho, provavelmente os principais resíduos da manipulação e processamento do café.

Para cada tonelada de grãos do café produzidos, aproximadamente uma tonelada de palhas são geradas durante o processamento a seco, enquanto para o processamento úmido e semi-úmido esta quantidade de resíduos passa para 2 toneladas<sup>11</sup>. Assim, devido à alta produtividade brasileira de grãos de café, o resíduo é

considerado um problema ambiental.

Nesse contexto, a palha do café, apresenta-se como um material com elevado potencial para ser utilizado em processos adsorptivos para remoção de íons metálicos de sistemas aquosos, contribuindo para o desenvolvimento de metodologias ambientalmente seguras e de baixo custo.

## Metodologia

As palhas do café foram coletadas, na Fazenda São João Grande, região do Alto Paranaíba-MG. Com objetivo de avaliar se ocorrem diferenças significativas no potencial adsorptivo do material, inicialmente foram coletadas a palha do café seca e a palha do café melosa. O material foi transportado para o laboratório, lavado várias vezes com água deionizada e seco em estufa à temperatura de 45°C, posteriormente foi triturado em liquidificador de uso doméstico e peneirado (Mesh 18) para promover a uniformidade do material.

O potencial de adsorção desses materiais foi avaliado para os seguintes íons metálicos: cobre, cádmio, cromo e chumbo. Foram preparadas soluções de cada íon metálico de concentração 5 mg L<sup>-1</sup>. O pH de cada solução foi ajustado para 2, 7 e 9 usando ácido nítrico e hidróxido de sódio na concentração de 0,1 mol L<sup>-1</sup> (Synth, 27%).

Para avaliar o potencial adsorptivo de cada um dos materiais, 200 mg de cada adsorvente foi colocado sob agitação por 2 horas a 160 rpm com 10 mL de solução de cada íon metálico sob diferentes condições de pH (2, 7 e 9), posteriormente a mistura foi filtrada e o sobrenadante analisado por Espectrometria de Absorção Atômica com atomização por chama – FAAS (inglês Flame Atomic Absorption Spectrometry). Todos os experimentos foram realizados em triplicata.

Esses experimentos forneceram resultados sobre o material com melhor potencial adsorptivo, tendo sido a palha de café seca *in natura* escolhida para os estudos seguintes. E a partir nesse momento o íon cádmio foi escolhido como analito.

A fim de se conhecer o comportamento superficial elétrico do material adsorvente, misturou-se 50 mg da palha do café com 10 mL de solução aquosa sob diferentes

condições de pH inicial (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12) e o pH final determinado após 24 horas de equilíbrio<sup>12</sup>. As soluções com pH em faixa ácida foram feitas a partir de diluições de HNO<sub>3</sub> 1,0 mol L<sup>-1</sup> e com pH básico a partir de diluições de NaOH 1,0 mol L<sup>-1</sup>, já que ambos os reagentes possuem atividades próxima a sua concentração.

A análise da composição inorgânica da palha de café, antes e após a adsorção do íon cádmio, foi realizada por meio da técnica de Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva (EDXRF), modelo Shimadzu 7000 (Tóquio, Japão), com energia de 0 a 40 keV com um canal de leitura de alumínio-urânio.

A otimização das condições de adsorção foi feita através do método univariado. No estudo fixou-se um fator por vez, e os demais fatores estudados foram variados até que fosse obtido o melhor resultado. Em seguida, outro fator foi submetido a variações sucessivas até que todos os fatores em questão estivessem ajustados para obter a melhor adsorção. A avaliação dos resultados foi feita tendo como referência o aumento da quantidade de íons Cd(II) adsorvida.

Para a avaliação da influência do pH na adsorção de íons Cd(II) pela palha do café seco *in natura*, os valores de pH foram investigados variando de 1 a 10, ajustados com soluções de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) e hidróxido de sódio (NaOH), ambos com concentração de 0,1 mol L<sup>-1</sup>. 0,2 g do material foram colocados sob agitação mecânica a 160 rpm, durante 60 minutos com 10 mL de soluções de Cd(II) (5 mg L<sup>-1</sup>) à temperatura ambiente, posteriormente, a mistura foi filtrada e o sobrenadante analisado pelo FAAS. Todos os experimentos foram realizados em triplicata. O comprimento de onda utilizado foi 228,8 nm, com comprimento da fenda de 0,2 nm, corrente da lâmpada de 7,0 mA e chama ar/acetileno.

Com o propósito de determinar o tempo ideal para que o equilíbrio ocorra entre o adsorvente e os íons Cd(II) e conhecer os mecanismos que controlam esse processo, foram realizados testes de adsorção em função do tempo de contato. Os valores de tempo avaliado em minutos foram: 5, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 e 180. A massa do adsorvente de 0,2 g foi colocada sob agitação a 160 rpm,

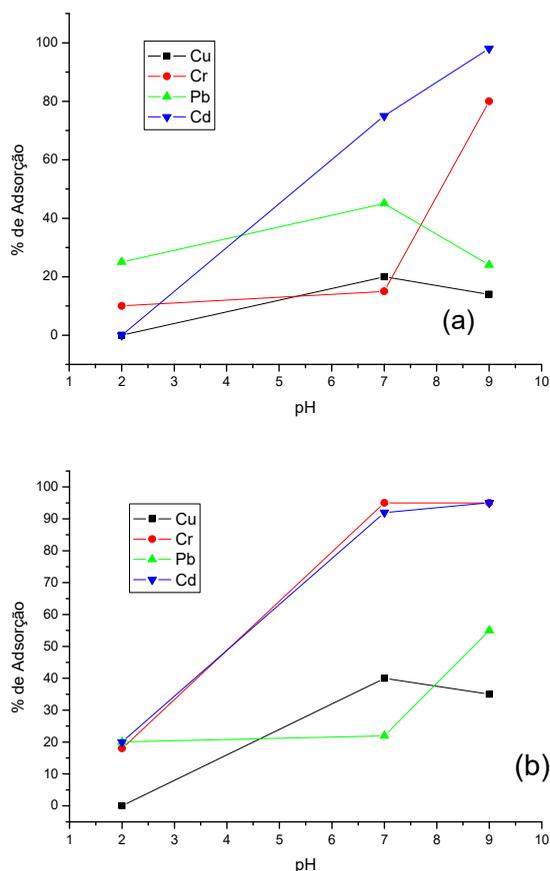
durante os tempos pré-determinados com soluções de Cd(II) com concentração de  $5 \text{ mg L}^{-1}$  e com pH ajustado para 9,0. Posteriormente, as misturas foram filtradas e o sobrenadante analisado por FAAS.

A fim de se calcular a capacidade máxima adsorptiva (CMA) do adsorvente em estudo pelos íons Cd(II), foram construídas isotermas de adsorção aplicadas ao modelo de Langmuir e Freundlich. Neste experimento, 50,0 mg do material adsorvente (palha do café seca *in natura*) foi colocado em frascos de polietileno a temperatura ambiente, em seguida foram adicionados 20 mL de soluções contendo o íon Cd(II), em concentrações crescentes de 1,0 a  $100 \text{ mg L}^{-1}$ . Posteriormente foram submetidos a filtração e o sobrenadante foi analisado por FAAS. Os valores de pH e tempo de agitação utilizados para a construção das isotermas, foram determinados em experimentos anteriores com valor 9,0 para pH e 60 minutos respectivamente. As isotermas foram construídas lançando-se no eixo da abscissa a concentração do sobrenadante, ou seja, a concentração de equilíbrio do adsorvato e no eixo da ordenada a quantidade do metal adsorvido (mg) pela massa (g) do adsorvente. A massa do metal adsorvido foi calculada subtraindo-se a concentração da solução de trabalho inicial ( $C_0$ ) da solução de equilíbrio ( $C_e$ ) após a agitação, dividido pela massa do adsorvente.

## Resultados e Discussão

As biomassas usadas, palha do café seca *in natura*, bem como a palha do café melosa *in natura*, foram avaliadas quanto ao potencial de adsorção frente aos íons cádmio, cromo, chumbo e cobre. A porcentagem de adsorção foi calculada com base na diferença das concentrações iniciais e finais. As figuras abaixo apresentam a adsorção dos íons metálicos em função do pH.

Após análise dos melhores resultados, a palha do café seca *in natura* foi o adsorvente que apresentou melhor porcentagem de adsorção (95%) em pH igual a 9 para o íon cádmio. Assim, este material foi escolhido para dar continuidade aos estudos, por ser de fácil aquisição em qualquer período do ano, além de não ser necessário submetê-lo a nenhum tipo de tratamento.



**Figura 1.** Avaliação do potencial adsorptivo da palha do café frente a íons metálicos. (a) Palha do café seca; (b) Palha do café melosa.

Com objetivo de melhorar o entendimento do comportamento elétrico superficial das partículas da biomassa, foram realizadas medições do Ponto de Carga Zero (PCZ, do inglês Point of Zero Charge), para compreender o comportamento do material quando em contato com soluções de caráter ácido e básico. Tal parâmetro indica o valor de pH no qual um sólido apresenta carga eletricamente nula em sua superfície, ou seja, o número de cargas positivas é igual ao número de cargas negativas. Quando o pH da solução é menor do que o pHPCZ do material sólido, a superfície deste ficará carregada positivamente, enquanto se o pH da solução for maior do que o pHPCZ, a superfície deste ficará carregada negativamente<sup>13</sup>.

A figura 2 apresenta o gráfico obtido para determinação do PCZ da palha do café seco *in natura*, onde é mostrado a  $\Delta\text{pH} = \text{pH}_0 - \text{pH}_r$ .

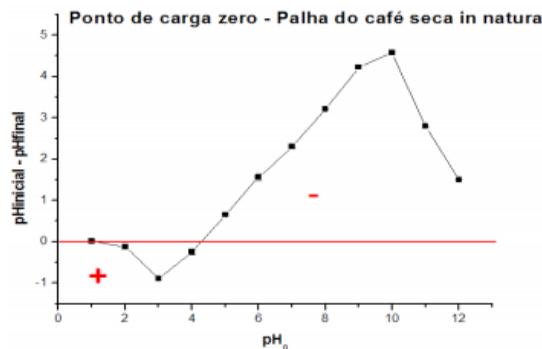


Figura 2. Variação pH(pcz) a partir da palha do café seca *in natura*.

A superfície da biomassa é composta principalmente de proteínas, lipídios e carboidratos que são responsáveis pela carga superficial das partículas devido à dissociação dos grupos funcionais presentes. A dissociação dos grupos funcionais depende do pH; se o pH da solução estiver acima do PCZ do adsorvente, a superfície deste apresentará cargas predominantemente negativas em carboxilas e hidroxilas dissociadas. Assim, exibirá uma habilidade para trocar cátions, enquanto se a solução estiver em um pH abaixo de seu PCZ, os grupos funcionais mencionados não estarão dissociados. Nessas condições a biomassa atrairá principalmente ânions<sup>14</sup>. A diferença entre o valor do pH inicial e do pH final  $\Delta\text{pH} = \text{pH}_i - \text{pH}_r$  foi plotado no gráfico. Foi tracejado, o pH(inicial) zero versus o ponto de interceptação resultante nulo, a  $\Delta\text{pH}$  corresponde ao ponto de carga zero, sendo esse valor 4,2 (pH<sub>pcz</sub>).

A palha do café seca, *in natura* e após adsorção do íon Cd(II) foram analisadas por EDXRF e os valores em porcentagem encontrados de seus constituintes inorgânicos estão representados na Tabela 1.

A partir da análise dos dados pode-se prever quais cátions podem ser liberados para o meio e competir pelos sítios ativos durante a adsorção do íon metálico, permitindo perceber se algum metal tóxico será dispensado em concentrações significantes durante um possível processo

de eluição. Com base na avaliação dos resultados, é possível concluir que o íon Cd(II) ficou retido na superfície do material adsorvente. Mediante os resultados apresentados na análise por EDXRF, identificou-se a presença de 24,459% de Cádmiu após o procedimento de adsorção, sendo que ele não foi encontrado anteriormente.

Tabela 1. Teores dos elementos inorgânicos presentes no material adsorvente palha do café antes e após o procedimento de extração.

Elemento	Antes adsorção (%)	Após adsorção do íon Cd(II) (%)
Cd	N.D	24,459
K	50,077	22,256
Ca	33,821	37,333
Fe	9,853	10,554
S	1,593	2,648
Si	1,356	N.D
Ti	1,021	0,492
Cu	0,697	0,696
Sr	0,413	N.D
Mn	0,379	0,392
Zn	0,310	0,664
P	0,285	0,507

\*N.D. não detectável

O efeito do pH na adsorção de íons Cd(II) foi estudado no intervalo de 1 a 10. A Figura 3 apresenta os resultados obtidos. O pH interfere na dissociação dos grupos funcionais presentes na superfície do adsorvente, se o pH da solução estiver acima do PCZ do adsorvente, a superfície deste exibirá cargas predominantemente negativas em carboxilas e hidroxilas dissociadas. Dessa forma, apresentará capacidade para trocar cátions, enquanto se a solução estiver num pH inferior ao pH no PCZ, os grupos funcionais descritos não estarão dissociados, e os grupos aminoácidos estarão protonados. Nessas condições o adsorvente atrairá principalmente ânions.

Na palha do café seca *in natura*, a faixa de pH com maior capacidade de adsorção foi entre 5 a 9, onde é possível observar que o pH da solução apresenta grande influência na adsorção dos íons Cd(II), na superfície do adsorvente. O mecanismo de adsorção pode ser elucidado

através do ponto de carga zero (pH<sub>pcz</sub>) determinado para o adsorvente em questão. Desta maneira, a adsorção de cátions é favorecida quando o pH for maior que o pH<sub>pcz</sub>, enquanto o oposto é observado pelos ânions. Uma vez que a palha do café seca in natura apresentou ponto de carga zero igual a 4,2, em qualquer valor de pH acima deste, sua superfície se encontrará negativamente carregada, apresentando potencial para adsorver cátions.

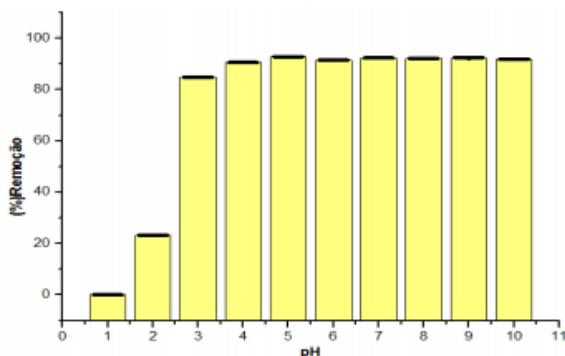


Figura 3. Avaliação da adsorção da espécie Cd(II) em função da variação do pH (n=3).

De acordo com BARKA e colaboradores<sup>15</sup>, à medida que o pH da solução foi aumentando, o número de sítios disponíveis carregados positivamente diminuiu e o número de sítios negativos aumentou significativamente. A superfície do adsorvente tornou-se carregada negativamente, o que possibilitou a adsorção dos íons Cd(II) carregados positivamente através das forças eletrostáticas. Pode-se concluir que a adsorção dos íons de Cd(II) aumentou com valores de pH mais altos. A menor capacidade de adsorção do adsorvente em estudo, foi detectada a pH ácido que deve ser devido a competição entre o excesso de íons (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) e os íons metálicos carregados positivamente na região de adsorção.

O tempo de contato na adsorção de íons Cd(II) foi analisado na faixa de 5 a 180 minutos, e a quantidade de íons adsorvida pelo material aumentou consideravelmente até 60 minutos, mantendo a adsorção constante acima desse tempo. Dessa forma, com o intuito de garantir a efetividade e rapidez no processo, o tempo adotado para todos os ensaios foi de 60 minutos, como mostra a Figura 4.

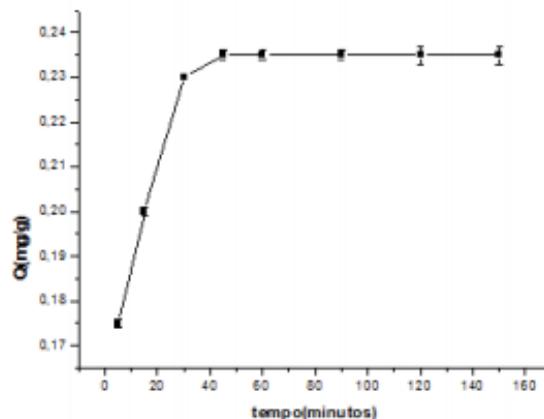


Figura 4. Quantidade de íons Cd(II) adsorvida em função do tempo de agitação (n=3).

Os parâmetros dos modelos cinéticos do processo de adsorção dos íons Cd(II) sobre a palha do café seca in natura, foram calculados por meio de regressão linear aplicados aos modelos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e difusão intrapartícula. A adequação aos modelos foi avaliada com base no coeficiente de correlação obtido para cada modelo. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros cinéticos para remoção do Cd(II) sobre a palha do café seca in natura.

Pseudo primeira-ordem				
K <sub>1</sub> (min <sup>-1</sup> )	Q <sub>e</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	Q <sub>e</sub> exp. (mg g <sup>-1</sup> )	R <sub>1</sub>	
0,035	0,090	0,235	0,9998	
Pseudo segunda-ordem				
K <sub>2</sub> (g mg <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> )	Q <sub>e</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	Q <sub>e</sub> exp. (mg g <sup>-1</sup> )	R <sub>2</sub>	h (mg g <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )
2,7839	0,237	0,235	0,9999	
Difusão intrapartícula				
K <sub>dif</sub>	C	R <sub>3</sub>		
0,0064	0,1753	0,8637		

Para interpretação dos dados obtidos, além dos valores dos coeficientes de correlação (R) apresentarem o melhor

ajuste, é necessário que os valores calculados de ( $Q_{e_{calc}}$ ) estejam próximos aos valores experimentais ( $Q_{e_{exp}}$ ).

De acordo com os resultados, o coeficiente de correlação encontrado através do modelo de pseudo-segunda ordem  $R_2 = 0,9999$  é maior que o coeficiente encontrado pelo modelo pseudo-primeira ordem  $R_1 = 0,9998$ . Comparando qualitativamente os valores de R e a proximidade existente entre os valores de  $Q_{e_{xp}}$  (0,235) e  $Q_{e_{cal}}$  (0,237) para o modelo pseudo-segunda ordem, observa-se que os dados experimentais do sistema adsorativo podem ser melhores representados por esse modelo. Estes resultados sugerem a ocorrência de quimiossorção como fator determinante do processo<sup>16</sup>.

A capacidade adsorativa da palha do café seca foi avaliada por meio da construção de isotermas de adsorção. A isoterma obtida foi avaliada de maneira linear em relação aos modelos de Langmuir e Freundlich.

Os dados experimentais apresentaram bons resultados para os dois modelos, sendo o valor do coeficiente de correlação (R) para o modelo de Freundlich (0,9981) ligeiramente menor que o de Langmuir (0,9998). O modelo de Langmuir considera a existência de interações entre a molécula adsorvida e o adsorvente. Nesse modelo, a adsorção acontece em uma única camada, entre sólido e líquido, sendo homogênea<sup>15</sup>. Enquanto que, o modelo de Freundlich propõe uma infinidade de íons metálicos acumulados na superfície do adsorvente, sendo que a adsorção ocorre em multicamadas<sup>15</sup>.

A linearização das isotermas, aponta bons resultados para o coeficiente de correlação, tanto para o modelo de Langmuir quanto para o modelo de Freundlich, com valores bem próximos de 1. Para o ajuste segundo o modelo de Freundlich, apesar de ter apresentado um bom coeficiente de correlação, os dados não se ajustam a esse modelo, uma vez que mesmo apresentando valor de n (2,0056) favorável, o valor da constante ( $K_f$ ) (2,5661) é muito baixo, tornando a adsorção muito pequena. Assim, considerando que os dados são melhor ajustados ao modelo de Langmuir, a capacidade máxima de adsorção na palha do café *in natura* foi calculada (10,126 mg g<sup>-1</sup>), indicando que o material apresenta um considerável potencial do seu uso como adsorvente.

## Conclusão

O presente trabalho avaliou a palha do café seca e palha do café melosa *in natura*, como adsorventes frente a diversos íons metálicos, sendo que a palha do café seca *in natura* apresentou maior eficiência na adsorção dos íons Cd(II).

Os dados apresentados sobre as isotermas de adsorção forneceram valores que compilam que a interação adsorvato-adsorvente ocorre através de processos de quimiossorção e monocamada, ajustando favoravelmente ao modelo de Langmuir. A cinética de adsorção apresentou melhores resultados para o modelo de pseudosegunda ordem.

Nesse sentido, os resultados apontam para o excelente potencial da palha de café como um bioadsorvente aplicado a íons metálicos em sistemas aquosos, contribuindo para o desenvolvimento de metodologias de remediação de águas, de baixo custo e ambientalmente corretas, por utilizar um subproduto agroindustrial, além de não utilizar solventes orgânicos em nenhuma das etapas do processo.

## Referências

1. Nancharaiyah, Y. V.; Mohan, S. V.; Lens, P.N.L. Metals removal and recovery in bioelectrochemical systems: A review. *Bioresource Technology*, v. 66, p. 219-232, **2014**.
2. Marquardt, H.; Schafer, S.; McClellan, R. O.; Welsch, F. *Toxicology*, San Diego; Academic Press, **1999**.
3. Queiroga, J. S.; Barbalho, B. C. Recuperação de cobre a partir de resíduos gerados nas aulas práticas de química no ensino médio. *Holos*, v.2, p. 128-145, **2018**.
4. Tyagi, I.; V. Gupta; H. Sadeh; R.S. Ghoshekandiet. Nanoparticles as adsorbent; a positive approach for removal of noxious metal ions: a review. *Science Technology and Development*, v. 34, p. 195- 214, **2017**.
5. Pereira, S. C.; Oliveira, J, A, N.; Siqueira, A. G.; Ferreira, M. M.; Alves, V. N. Estudo do potencial de adsorção de metais tóxicos pelo  $CaMoO_4$ . *Revista Processos Químicos*. v. 2, p. 19-28, **2020**.
6. Alves, V. N.; Araújo, C. S. T.; Coelho, N. M. M. Potencialidades do vermicomposto na adsorção de íons prata. *Horizonte Científico*, v.1, p. 1-19, **2008**.
7. Alves, V. N.; Mosquetta, R.; Coelho, N. M. M.; Bianchin, J. N.; Roux, K. C. D. P.; Carasek, E. Determination of cadmium in alcohol fuel using Moringa oleifera seeds as a biosorbent in na on-line system coupled to FAAS. *Talanta*, v. 80. p.1136-1138, **2010**.

8. Bandosz, T. T. Activated carbono surfaces in environmental remediation. Elsevier, **2006**.
9. Borém, F. M., Coradi, P. C.; Saath, R.; Oliveira, J. A. Qualidade do café natural e despolpado após secagem em terreno e com altas temperaturas. *Ciênc. Agrot.*, v. 32, p. 1609-1615, **2008**.
10. Oliveira, W. E.; Franca, A. S.; Oliveira, L. S.; Rocha, S. D. Evaluation of untreated coffee husks as a potential biosorbents for treatment of dye contaminated waters. *Journal of Hazardous Materials*, v. 155p. 507-512, **2008**.
11. FONTANALS, N.; MARCE, R. M.; BORRULL, F.. New hydrophilic materials for solid-phase extraction. *Trends Anal. Chem.*, v. 24, p. 394-406, **2005**.
12. Balistreri, L. S; Murray, J. W. The surface chemistry of goethite ( $\alpha$ -FeOOH) major ion seawater. *Geochimica et cosmochimica acta*. v. 46, p. 1041 -1052, **1982**.
13. Deolin, M. H. S.; Fagnani, H. M. C.; Arroyo, P. A.; Barros, M. A. S. D. Obtenção do ponto de carga zero de materiais adsorventes. VIII Encontro nacional de produção científica da UNICESUMAR, Maringá- PR, **2013**.
14. Araújo, C. S. T.; Alves, V. N.; Rezende, H. C.; Almeida, I. L. S.; Asunção, R. M. N.; Tarley, C. R. T.; Segatelli, M. G.; Coelho, N. M. M. Characterization and use of Moringa oleifera seeds as biosorbent for removing metal ions from aqueous effluents. *Water Science and Techonology*, v. 62, p. 2198 – 2203, **2010**.
15. Barka, N.; Abdennouri, M.; Boussaoud, A.; Makhfouk, M.. Biosorption characteristics of Cadmium(II) onto Scolymus hispanicus L. as low-costnatural biosorbent. *Desalination*, v. 258, p. 66-71, **2010**.
16. Feng, N.; Guo, X.; Liang, S.; Zhu, Y.; Liu, J. Biosorption of heavy metals from aqueous solutions by chemically modified orange peel. *Journal of Hazardous Materials*, v. 185, p. 49-54, **2011**.

---

## **Maria D. A. Soares & Vanessa N. Alves\***

Universidade Federal de Catalão, Departamento de Química.

\*E-mail:vanessanalves@gmail.com