

## Cálice de *Hibiscus sabdariffa*: Avaliação do Potencial Adsorvente Frente a Íons Metálicos

*Calyx of Hibiscus sabdariffa: Evolution of the Adsorbent Potential Against Metallic Ions*

Ana A. Silva, Amanda G. Barbosa, James M. Silva, Márcia F. Mendes & Vanessa N. Alves

Neste trabalho, o cálice desidratado do *Hibiscus Sabdariffa* foi utilizado para sintetizar seus precursores, que foram denominados como Hibisco Lavado (HL), Hibisco Magnetizado (HM) e o Hibisco Lavado Magnetizado (HLM). O intuito dessas sínteses foi a preparação de materiais adsorventes alternativos, para serem utilizados para extração de cobalto e cobre em matriz aquosa. O material in natura, Hibisco, como seus derivados, HL, HM e HLM passaram pelo processo de caracterização através da difração de raios X (DRX), para analisar a cristalinidade e identificar as fases presentes nos materiais. A fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDXRF) forneceu informações detalhadas sobre a composição química, revelando os elementos predominantes em cada material. Além disso, foram realizados ensaios para determinar o ponto de carga zero (pHpzc), que é crucial para entender o comportamento de adsorção em diferentes faixas de pH. Essas técnicas permitiram uma compreensão aprofundada das propriedades dos materiais desenvolvidos, demonstrando que os tratamentos aplicados foram eficazes em modificar e potencializar as capacidades adsorventes do hibisco para os metais cobalto e cobre.

**Palavras-chave:** *Hibiscus sabdariffa*; adsorção; cobalto; cobre

In this work, the dehydrated calyx of *Hibiscus sabdariffa* was used to synthesize its precursors, which were designated as Washed Hibiscus (WH), Magnetized Hibiscus (MH), and Washed Magnetized Hibiscus (WMH). The purpose of these syntheses was the preparation of alternative adsorbent materials to be used for the extraction of cobalt and copper in aqueous matrix. The material in nature form, Hibiscus, and the derivatives—WH, MH, and WMH were submitted to characterization through X-ray diffraction (XRD) to analyze crystallinity and identify the phases present in the materials. Energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) provided detailed information about the chemical composition, revealing the predominant elements in the materials. In addition, tests were conducted to determine the point of zero charge (pHpzc), which is crucial for understanding the adsorption behavior across different pH ranges. These techniques enabled a deeper understanding of the properties of the developed materials, demonstrating that the applied treatments were effective in modifying and enhancing the hibiscus's adsorptive capacities for cobalt and copper ions.

**Keywords:** *Hibiscus sabdariffa*; adsorption; cobalt; copper.

## Introdução

O *Hibiscus sabdariffa*, conhecido popularmente como hibisco, é uma planta tropical com grande potencial econômico, amplamente estudada devido às suas diversas aplicações, que vão desde a indústria alimentícia até a medicina tradicional<sup>1</sup>. Seus cálices quando desidratados são ricos em compostos bioativos, como antocianinas, ácido ascórbico, ácidos orgânicos, flavonoides e polifenóis.<sup>2,3</sup> A presença das antocianinas confere-lhe propriedades antioxidantes significativas.<sup>4</sup>

Além das aplicações tradicionais, o hibisco tem mostrado um potencial significativo em áreas emergentes da ciência de materiais, como bioadsorvente de contaminantes ambientais.<sup>5-7</sup> É possível que a estrutura fibrosa dos cálices desidratados de hibisco contribua para suas propriedades adsorventes.<sup>8</sup>

Segundo Bankole *et al.*,<sup>9</sup> as vagens de sementes de *Hibiscus sabdariffa* mostraram um desempenho notável na remoção de fosfato de cloroquina (CQ) de meios aquosos, atingindo uma capacidade máxima de adsorção de 161.29 mg/g e uma taxa de remoção de 96.01%. Além disso, a capacidade de bioedução dos cálices de *Hibiscus sabdariffa* foi eficaz na transformação de cromo hexavalente (Cr VI) tóxico em cromo trivalente (Cr III) menos tóxico, com uma taxa de bioedução de 72% de uma solução de Cr (VI) a 10 mg/L em 15 minutos, conforme relatado por Ambi *et al.*<sup>9</sup> Já o *Hibiscus cannabinus*, também se destaca como um bioadsorvente sustentável, apresentando uma capacidade máxima de adsorção de azul de metileno de 154.0 mg/g em 1 hora, segundo Raja *et al.*<sup>10</sup>. Estes estudos demonstram o potencial significativo das espécies de Hibiscus na biorremediação de diferentes contaminantes em águas residuais.

Para explorar e otimizar o uso do hibisco como material adsorvente, é necessário investigar tanto suas propriedades naturais quanto os efeitos de modificações químicas destinadas a melhorar sua eficiência. Uma dessas modificações consiste na funcionalização magnética, que envolve a incorporação de nanopartículas magnéticas ao material adsorvente.<sup>11</sup> Essa técnica não apenas aumenta a capacidade de adsorção do material, mas também facilita

a recuperação e reutilização do adsorvente. Com essas melhorias, o hibisco se torna um candidato altamente atrativo para aplicações sustentáveis na remediação ambiental, oferecendo uma solução eficiente e ecológica para a purificação de água e a remoção de contaminantes.

No presente estudo, o *Hibiscus sabdariffa* foi utilizado como material adsorvente para íons metálicos. Obteve-se após tratamento físico-químico três novos materiais denominados de hibisco lavado (HL), hibisco magnetizado (HM) e hibisco lavado magnetizado (HLM).

## Metodologia

### PREPARO DOS MATERIAIS ADSORVENTES

Foi utilizado o cálice desidratado do botão das flores de *Hibiscus sabdariffa*, obtido em uma loja de plantas naturais, no comércio da cidade de Catalão, Goiás, Brasil. Este material é vendido após passar por um processo prévio de desidratação, em que ocorre a retirada da água e a conservação dos aspectos nutritivos e características do cálice. Esse material foi denominado como hibisco natural.

O material obtido foi separado em duas partes. Uma delas foi levada diretamente para a estufa a 100 °C por 2 horas, para que o material se tornasse mais quebradiço, permitindo uma trituração mais eficiente. A outra parte do hibisco passou por um processo de lavagem com água quente, com o objetivo de remover os pigmentos vermelhos, solúveis em água. Para essa remoção, o material foi colocado em um béquer contendo água desionizada e aquecido com agitação a 100 °C, usando um agitador magnético com aquecimento C-MAG HS 7 IKA. O material foi filtrado e uma nova porção de água foi adicionada ao sistema. Essa filtração e a troca da água desionizada foram realizadas em um ciclo de 20 minutos de aquecimento com agitação. Isso foi repetido até que o material não liberasse mais cor na água.

Em seguida, o hibisco lavado foi seco em estufa a 100 °C por 24 horas e passou pelo processo de trituração utilizando um mixer doméstico (Mixer Black Decker Sb-40). Esse novo material foi denominado como hibisco lavado. Com o intuito de obter um resultado mais homogêneo, ambos os materiais, hibiscos lavado e natural, foram passados por uma peneira para separação granulométrica.

Na sequência, os materiais preparados foram modificados magneticamente utilizando fluido ferromagnético previamente sintetizado. Para tal, misturaram-se 40,0 mL de cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) a  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  e 10,0 mL de cloreto ferroso ( $\text{FeCl}_2$ ) a  $2,0 \text{ mol L}^{-1}$ , em ácido clorídrico a  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ . Acrescentou-se 500,0 mL de solução de hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) a  $0,70 \text{ mol L}^{-1}$ <sup>12</sup>, obtendo-se um precipitado gelatinoso, que foi separado magneticamente com auxílio de um ímã<sup>13</sup>. O precipitado foi lavado com água deionizada, e em seguida, foi colocado em agitação com uma solução de ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) a  $2,0 \text{ mol L}^{-1}$ . Depois, o material foi separado por centrifugação e por fim, foi adicionada água ao precipitado, encerrando o processo de peptização e dando origem ao ferrofluido<sup>14</sup>.

Os adsorventes (hibiscos natural e lavado) foram funcionalizados com ferrofluido através da adição de 3 mg de cada material em um béquer contendo 40 mL de metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) e 6,0 mL de ferrofluido. Essa solução foi agitada por uma hora. Em seguida, os materiais foram lavados com metanol e secos em temperatura ambiente. Os dois materiais sintetizados foram denominados hibisco magnetizado e hibisco lavado magnetizado. Ao comparar esses adsorventes com os originais, observa-se na Figura 1 uma diferença visual. Além disso, a magnetização pode ser confirmada ao se aplicar nos adsorventes um campo magnético gerado por ímã.

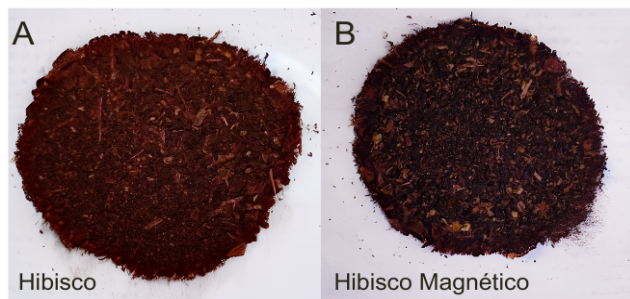


**Figura 1.** Visualização do hibisco in natura (a) e hibisco após magnetização (b).

## CARACTERIZAÇÃO DOS ADSORVENTES

Os quatro adsorventes obtidos, sendo eles o hibisco natural, o hibisco lavado, o hibisco magnetizado e o hibisco lavado magnetizado, foram caracterizados utilizando diversas técnicas, como a Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (EDXRF), além de ensaios para determinação do ponto de carga zero ( $\text{pH}_{\text{pcz}}$ ).

Para averiguar se o material magnético foi incorporado ao hibisco, as amostras magnetizadas foram caracterizadas estruturalmente por difração de Raios X (DRX). Foi utilizado um difratômetro Shimadzu XRD-6100 com radiação  $\text{K}\alpha$  do cobre ( $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ ). Os difratogramas foram submetidos à temperatura ambiente, com uma taxa de varredura de  $2^\circ/\text{min}$  e  $2\theta$  variando de  $10^\circ$  a  $80^\circ$ . Esses resultados foram comparados aos padrões disponíveis na literatura ICDD-PDF (International Centre of Diffraction Data – Powder Diffraction File).

O ensaio para determinação do ponto de carga zero ( $\text{pH}_{\text{pcz}}$ ) foi realizado sob as mesmas condições para os quatro adsorventes, em duplicatas. Em frascos plásticos com tampa, foram adicionados 20 mg do adsorvente em questão e 15 mL de água desionizada. O pH dessas soluções foi medido utilizando pHmetro portátil da marca Akso, modelo AK90. Os valores de pH foram ajustados utilizando ácido clorídrico e hidróxido de sódio diluídos para obter valores de pH em faixas variando de 1 a 12. Os frascos foram agitados e ficaram em repouso por 24 horas em temperatura ambiente, e em seguida o pH final foi aferido. Dessa forma, foi possível calcular a diferença entre o pH inicial e final em função do pH inicial. O  $\text{pH}_{\text{pcz}}$  é o ponto em que a variação observada é nula.

## AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO PH DO MEIO NA ADSORÇÃO DE ÍONS METÁLICOS

Os ensaios de adsorção foram realizados utilizando 20 mg de cada material adsorvente (hibisco *in natura*, hibisco lavado, hibisco magnetizado e hibisco lavado magnetizado) em 10 mL de uma solução aquosa contendo

íons metálicos separadamente a uma concentração de 2 mg L<sup>-1</sup>. Os ensaios foram realizados em triplicata e em temperatura ambiente. O material adsorvente em estudo foi adicionado às soluções contendo o íon metálico e mantidas sob agitação em um agitador do tipo vórtex (IKA VORTEX 3), durante 15 minutos. Após a agitação, o adsorvente foi filtrado utilizando lã de vidro e descartado, enquanto o sobrenadante foi armazenado em tubo tipo Falcon para a posterior análise. Os íons metálicos estudados foram Co<sup>2+</sup> e Cu<sup>2+</sup>, e a adsorção foi avaliada nas faixas de pH 2, 7 e 8.

Após a filtração, o sobrenadante foi analisado por Espectrometria de Absorção Atômica por chama (FAAS), em um espectrômetro da marca Perkin Elmer, modelo AAnalyst 400. A lâmpada utilizada foi de multielementos de Co, Cu, Fe, Mn e Mo, da marca Perkin Elmer, no comprimento de onda de 240,73 nm.

## Resultados e Discussões

### CARACTERIZAÇÃO DOS ADSORVENTES

Para compreender melhor o comportamento dos materiais adsorventes, foi essencial conhecer sua composição química. A Tabela 1 apresenta os dados das análises realizadas utilizando fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDXRF) para os materiais adsorventes estudados.

O hibisco natural é composto majoritariamente por cálcio (Ca), potássio (K) e sílica (Si), sendo que no hibisco *in natura*, em geral foram observadas as maiores porcentagens para esses elementos. Nesta análise também é importante observar que a presença de ferro não foi verificada no material *in natura*, enquanto para a amostra de hibisco lavado, esse metal passa a ser detectado. O aumento na porcentagem de ferro presente nas amostras que passaram pelo processo de magnetização com o ferrofluido, de 4,26% para 78,785% para o hibisco lavado e de 0 para 23,941% para o hibisco *in natura*, são um indicativo da eficiência do processo realizado, sinalizando que material magnético foi incorporado à superfície do material.

**Tabela 1.** Resultados de análise química realizada por EDXRF dos materiais Hibisco (H), Hibisco Lavado (HL), Hibisco Magnetizado (HM) e Hibisco Lavado Magnetizado (HLM).

| Elemento | Hibisco (%) | Hibisco Lavado (%) | Hibisco Magnetizado (%) | Hibisco Lavado Magnetizado (%) |
|----------|-------------|--------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Ca       | 76,787      | 47,264             | 76,787                  | 13,9633                        |
| K        | 40,295      | 4,332              | 29,278                  | 0,535                          |
| Si       | 2,278       | 1,808              | 5,049                   | 0,252                          |
| Mn       | 2,233       | 2,687              | 1,309                   | 0,333                          |
| Mg       | 1,561       | 1,49               | 0,861                   | -                              |
| S        | 1,876       | 1,876              | 1,135                   | 0,512                          |
| P        | 0,8         | 1,162              | 0,863                   | 0,195                          |
| Sr       | 0,635       | 0,956              | -                       | -                              |
| Cu       | 0,298       | 1,166              | -                       | 0,27                           |
| Rb       | 0,21        | -                  | 0,046                   | -                              |
| Fe       | -           | 4,246              | 23,941                  | 78,785                         |
| Ti       | 0,336       | 0,413              | 0,272                   | -                              |
| Br       | 0,327       | 0,195              | 0,039                   | -                              |
| Zn       | 0,426       | 2,883              | 0,345                   | 0,868                          |
| Re       | 0,223       | -                  | -                       | -                              |
| Na       | -           | -                  | -                       | 3,775                          |
| Er       | -           | -                  | -                       | 0,542                          |

Além da confirmação visual da magnetização, que foi possível através da aplicação de um campo magnético externo (ímã), o ferro é um elemento que, ao ser inserido, gera a capacidade magnética. Portanto, podemos afirmar que o processo de magnetização dos adsorventes ocorreu de forma efetiva.

A Figura 2 ilustra os difratogramas das amostras de hibisco após o processo de magnetização. Os picos observados em cerca de 2θ = 30,3°, 35,8° e 63,1° são relacionados ao óxido magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), de acordo com a ficha cristalográfica ICDD nº 75-0449, confirmando a obtenção da fase magnética pretendida. Porém, segundo a ficha ICDD nº 21-0920, os picos em cerca de 2θ = 15,2° e 24,6° apontam para a presença de uma fase secundária de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Tais resultados corroboram com a análise de EDX, a qual aponta a presença de ferro nessas amostras, e explica o comportamento magnético do material.

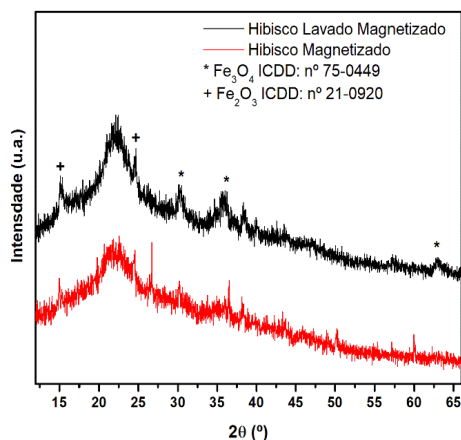


**Figura 2.** Difratogramas das amostras de hibisco magnetizadas.

A baixa intensidade dos picos e a presença de uma banda em aproximadamente  $2\theta = 22^\circ$  estão relacionados à composição orgânica do hibisco, uma vez que materiais amorfos provocam espalhamento dos Raios X e reduzem a difração destes pela fase cristalina.<sup>15</sup>

O conhecimento do ponto de carga zero ( $\text{pH}_{\text{PCZ}}$ ) é um fator crucial para o estudo de um material adsorvente, pois o pH do meio influencia diretamente o processo de adsorção, ao afetar a carga superficial do material.<sup>16</sup> O  $\text{pH}_{\text{PCZ}}$  representa o equilíbrio das cargas superficiais, ou seja, o ponto em que o sólido apresenta carga neutra. Esse parâmetro permite compreender a tendência da superfície do adsorvente de possuir uma carga positiva ou negativa conforme o pH do meio.<sup>17</sup> Quando o pH está abaixo do  $\text{pH}_{\text{PCZ}}$ , a superfície do adsorvente será predominantemente positiva, sendo capaz de adsorver ânions; acima desse valor, a superfície será predominantemente negativa, interagindo com cátions.<sup>18</sup>

O  $\text{pH}_{\text{PCZ}}$  do hibisco natural foi definido como sendo aproximadamente 2, enquanto o hibisco lavado apresentou um valor próximo a 3. No caso do hibisco magnetizado, o valor encontrado foi em torno de 2, e o hibisco lavado magnetizado apresentou um valor também 3. Os metais avaliados como adsorvatos neste estudo foram o cobre e o cobalto, que em solução formam os íons  $\text{Cu}^{2+}$  e  $\text{Co}^{2+}$ . Portanto, os adsorvatos teriam um processo de adsorção mais efetivo em pH superiores ao  $\text{pH}_{\text{PCZ}}$ , já que a superfície do adsorvente estaria carregada negativamente.

## ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO PH DO MEIO

Com o intuito de compreender a influência do pH do meio no desempenho da adsorção dos íons metálicos, foram realizados ensaios para determinar o melhor pH de adsorção. Em  $\text{pH} = 2$ , ambos os íons  $\text{Cu}^{2+}$  e  $\text{Co}^{2+}$  não apresentaram boa porcentagem de adsorção, obtendo resultados mais promissores em pHs mais altos. Para maioria dos adsorventes, o  $\text{pH} = 8$  apresentou uma maior extração dos íons metálicos.

Ao avaliar a extração de íons metálicos por cada um dos materiais adsorventes, observou-se, conforme a Figura 3 que os materiais que passaram pelo processo de lavagem com água quente tiveram um desempenho superior, e que a magnetização não causou perdas, mantendo a adsorção. Para o cobre, a adsorção do Hibisco lavado máxima foi de 77,08%, enquanto o Hibisco lavado magnetizado conseguiu extrair 52,78% dos íons metálicos  $\text{Cu}^{2+}$ . Já para o cobalto, o Hibisco lavado obteve uma adsorção de 68%, enquanto o Hibisco lavado, magnetizado foi 58%. Entretanto, a magnetização do adsorvente permite que o material e sobrenadante possam ser separados magneticamente, com auxílio de um ímã, possibilitando a pré-concentração dos íons metálicos através da eluição dos metais em ácido. Dessa forma, o método ganha muito em frequência analítica, conseguindo detectar concentrações menores, que não seriam possíveis pelo limite de detecção do FAAS.

Ao avaliar a extração de íons metálicos por cada um dos materiais adsorventes, observou-se que os materiais que passaram pelo processo de lavagem com água quente tiveram um desempenho superior, e que a magnetização não causou perdas, mantendo a adsorção em uma faixa muito próxima. Como observado na Figura 4, para o cobre, a adsorção máxima do Hibisco lavado foi de 77,08%, enquanto o Hibisco lavado magnetizado conseguiu extrair 56,86% dos íons metálicos  $\text{Cu}^{2+}$ . Já para o cobalto, o Hibisco lavado obteve uma adsorção de 68%, enquanto o Hibisco lavado magnetizado teve uma adsorção de 58%. Entretanto, a magnetização do adsorvente permite que o material e o sobrenadante possam ser separados magneticamente, através da aplicação de um campo magnético (ímã), possibilitando a pré-concentração dos íons metálicos através da eluição dos metais em ácido

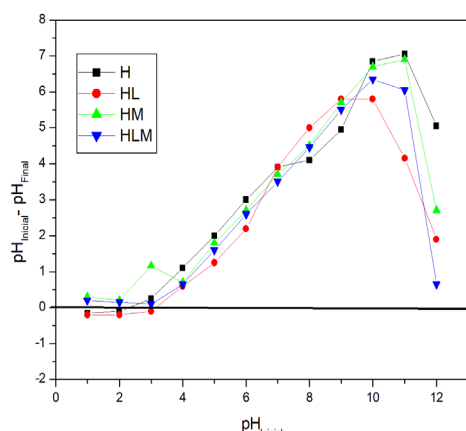


**Figura 3.** Estudo do pH no ponto de carga zero ( $\text{pH}_{\text{PCZ}}$ ) para o hibisco (H), hibisco lavado (HL), hibisco magnetizado (HM) e o hibisco lavado magnetizado (HLM) A –  $\text{pH}_{\text{inicial}} - \text{pH}_{\text{final}}$  em função de  $\text{pH}_{\text{inicial}}$ .

Dessa forma, o método ganha muito em eficiência analítica, conseguindo detectar concentrações menores que não seriam possíveis pelo limite de detecção do FAAS.

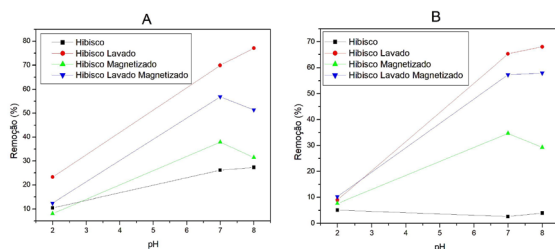


**Figura 4.** Avaliação do percentual de remoção em função do pH para o íon cobre (A), avaliação do percentual de remoção em função do pH para o íon cobalto (B).

## Conclusão

Por meio dos resultados obtidos neste trabalho, é possível confirmar que os materiais funcionalizados com ferrofluido apresentaram capacidade magnética. Os materiais adsorventes analisados, o hibisco natural, hibisco lavado, hibisco magnetizado, e o hibisco lavado magnetizado são promissores para remoção de íons metálicos em matriz aquosa. Principalmente o hibisco lavado, que apresentou os melhores resultados para adsorção tanto de íons, cobre como íons cobalto.

## Referências

- ELLIS L. R.; ZULFIQAR S.; HOLMES M.; MARSHALL L.; DYE L.; BOESCH C.; *Nutr. Rev.* **2021**, 15, 464.
- JAMROZIK, D.; BORYMSKA, W.; KACZMARCZYK-ŻEBROWSKA, I.; *Foods*, **2022**, 11, 2134.
- IZQUIERDO-VEGA, J. A.; ARTEAGA-BADILLO, D. A.; SÁNCHEZ-GUTIÉRREZ, M.; MORALES-GONZÁLEZ, J. A.; VARGAS-MENDOZA, N.; GÓMEZ-ALDAPA, C. A.; CASTRO-ROSAS, J.; DELGADO-OLIVARES, L.; MADRIGAL-BUJADAR, E.; MADRIGAL-SANTILLÁN, E.; *Biomedicines*. **2020**, 8, 100.
- MONTALVO-GONZÁLEZ, E.; VILLAGRÁN, Z.; GONZÁLEZ-TORRES, S.; IÑIGUEZ-MUÑOZ, L. E.; ISIODIA-ESPINOZA, M. A.; RUVALCABA-GÓMEZ, J. M.; ARTEAGA-GARIBAY, R. I.; ACOSTA, J. L.; GONZÁLEZ-SILVA, N.; ANAYA-ESPARZA, L. M.; *Pharmaceuticals*. **2022**, 15, 464.
- SHAFIRANY, M.; INDAWATI, I.; SULASTRI, L.; SADINO, A.; KUSUMAWATI, A.; ALKANDAHRI, M. J.; *Pharm. Res. Int.* **2021**, 186–192.
- BANKOLE, D. T.; OLUYORI, A. P.; INYINBOR, A. A.; S. AFR. J. CHEM. Eng. **2022**, 42, p. 162–175.
- HAGHIGHI, P.; HEKMATI, M.; ZIYADI, H.; GHASEMI, E.; ESMAEILI, D.; *Mater. Chem. Phys.* **2021**, 267, 124608.
- RAJA, Y. S.; MOHAMAD; SUFIANS, S. ARABIAN J. Sci. Eng. **2020**, 46, 6349.
- RANA, A. K.; THAKUR, V. K.; *MATER. Adv.*, **2021**, 2, 4945
- AMBI, A.A.; ISA, M.T.; IBRAHIM, A.B. BASHIR, M.; EKWURIBE, S.; SALLAU, A.B.; *Scientific African*, **2020**, 10, 642 10.
- RAJA, Y. S.; MOHAMAD; SUFIANS, S. ARABIAN J. Sci. Eng. **2020**, 46, 6349.
- MASSART, R.; *IEEE Trans. Magn.* **1981**, 1, 1247.
- GONÇALVES, D. C. B.; *Desenvolvimento de uma Metodologia de Extração em Ponto Nuvem Modificada para Determinação de Cd(II) Utilizando as Cascas das Sementes de Moringa Oleífera Magnética como Adsorvente. Dissertação (Mestrado)*, **2022**.
- HAGHIGHI, P.; HEKMATI, M.; ZIYADI, H.; GHASEMI, E.; ESMAEILI, D.; *Mater. Chem. Phys.* **2021**, 267, 124608.
- MARIANO, N.; MAY, J.; KURI, S.; *REM, Rev. Esc. Minas* **2004**, 57, 129.
- NASCIMENTO, R.; LIMA, A.; VIDAL, C.; MELO, D.; RAULINO, G.; *Fortaleza: Imprensa Universitária*, **2014**, 256.
- ELLIOTT, H.; HUANG, C.; *Water Res.* **1981**, 15, 849.
- FREITAS, F. B. A.; CÂMARA, M. Y. F.S; FREIRE, M. D. F.; *Blucher Chemistry Proceedings* **2015**, 3, 610.

---

Ana A. Silva\*, Amanda G.  
Barbosa, James M. Silva, Márcia  
F. & Vanessa N. Alves

Universidade Federal de Catalão, Instituto de Química, Catalão, Goiás, Brasil.

\*E-mail: [anaalicesilva566@gmail.com](mailto:anaalicesilva566@gmail.com)