




## Utilização das folhas de comigo-ninguém-pode (*Dieffenbachia seguine*) como bioadsorvente para a remoção de íons metálicos

Francivaldo de Sousa<sup>1</sup>, José Sérgio de Sousa<sup>1</sup>, Afranio Gabriel da Silva<sup>2</sup> ,  
Diego Isaias Dias Marques<sup>1</sup>, Max Rocha Quirino<sup>1</sup>  & Guilherme Leocárdio  
Lucena<sup>1</sup> 

- (1) Universidade Federal da Paraíba – Campus III, Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias, Laboratório de Química, Cidade Universitária 58220-000, Bananeiras, Paraíba, Brasil. E-mail: [guilherme\\_leo1@yahoo.com.br](mailto:guilherme_leo1@yahoo.com.br), [labquim.ufpb@gmail.com](mailto:labquim.ufpb@gmail.com)
- (2) Universidade Federal da Paraíba – Campus I, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Departamento de Química, Jardim Universitário, Castelo Branco 58051-900, João Pessoa, Paraíba, Brasil. E-mail: [agasil@yahoo.com.br](mailto:agasil@yahoo.com.br)

Sousa F., Sousa J.S., Silva A.G., Marques D.I.D., Quirino M.R. & Lucena G.L. (2021) Utilização das folhas de comigo-ninguém-pode (*Dieffenbachia seguine*) como bioadsorvente para a remoção de íons metálicos. *Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza*, 5: e1647.  
<http://dx.doi.org/10.29215/pecen.v5i0.1647>

**Editor acadêmico:** Everton Vieira da Silva. **Recebido:** 09 novembro 2020. **Aceito:** 04 fevereiro 2021. **Publicado:** 11 fevereiro 2021.

**Resumo:** A presença de metais pesados pode tornar-se motivo de preocupação em função da possibilidade de movimentação e consequente contaminação de camadas superficiais do solo e águas subterrâneas, comprometendo a saúde de plantas e animais. Dentre os métodos de descontaminação, a bioadsorção tem apresentando bons resultados econômicos e ecológicos. Neste trabalho, folhas da planta comigo-ninguém-pode (CNP) foram utilizadas na remoção de íons  $\text{Cu}^{2+}$  de soluções aquosas. Realizou-se a desidratação das folhas da planta em estufa, até massa constante, em seguida procedeu as etapas de pulverização e peneiramento. Os ensaios de adsorção foram realizados em batelada, sendo composto por 0.5 g das folhas desidratadas com 100 mL de soluções aquosas de  $\text{CuSO}_4$  com diferentes concentrações. Uma avaliação do teor de íons oxalatos presentes nas folhas foi realizada pela técnica de permanganimetria. A caracterização e quantificação foi realizada pelas técnicas de difração de raios-X e espectroscopia de absorção atômica. Os resultados dos ensaios de adsorção mostraram que as folhas de CNP apresentaram 93% de remoção de  $\text{Cu}^{2+}$  quando testados em uma solução cuja concentração do metal foi de 600 mg  $\text{L}^{-1}$ . Os difratogramas de raios-X confirmaram que o metal adsorvido incorporou na estrutura das folhas. O estudo cinético mostrou que a adsorção de  $\text{Cu}^{2+}$  pelas folhas de CNP obedecem ao modelo matemático de pseudosegunda ordem. O bioadsorvente testado neste trabalho apresentou elevada eficiência na descontaminação de efluentes contendo íons  $\text{Cu}^{2+}$ . A utilização do processo utilizado propõe um mecanismo de descontaminação eficiente, de baixo custo e elevado valor ecológico, além de promover uma funcionalidade a uma espécie de planta tóxica.

**Palavras chave:** Bioadsorção, oxalatos, cinética.

**Use of *Comigo-ninguém-pode* leaves (*Dieffenbachia seguine*) as bioadsorbent for metallic ions removal**

**Abstract:** The heavy metals can become a concern due to the possibility of movement and consequent contamination of superficial layers of soil and groundwater, compromising the health of plants and animals. Among the decontamination methods, bioadsorption has shown good economic and ecological results. In this work, leaves of the comigo-ninguém-pode plant have been used in the

removal of  $\text{Cu}^{2+}$  ions from aqueous solutions. The leaves of the plants were dehydrated to a constant mass, followed by the spraying and sieving stages. Adsorptions tests were carried out in batch, consisting of 0.5 g of dehydrated leaves with 100 mL of aqueous solutions of  $\text{CuSO}_4$  in different concentrations. An evaluation of the content of oxalate ions present in the leaves was performed by the permanganometry technique. Characterization and quantification was performed by X-ray diffraction and atomic absorption spectroscopy. Results of the adsorption tests showed that CNP leaves exhibited 93% of  $\text{Cu}^{2+}$  ions removal when tested in a solution whose metal concentration was  $600 \text{ mg L}^{-1}$ . XRD patterns confirmed that the adsorbed metal incorporated into the structure of the leaves. Kinetic study showed that the adsorption of  $\text{Cu}^{2+}$  by the CNP leaves obeys the mathematical model of pseudo-second order. The bioadsorbent tested in this work showed high efficiency in the decontamination of effluents containing  $\text{Cu}^{2+}$  ions. The use of the process proposes an efficient decontamination mechanism, of low cost and high ecological value, in addition to promoting functionality to a toxic plant.

**Key words:** Bioadsorption, oxalates, kinetic.

---

## Introdução

A contaminação dos recursos hídricos por efluentes provenientes de diferentes ramos industriais é considerada um problema ambiental grave. Dessa forma, a indústria se tornou um potencial poluidor através da exposição dos metais pesados ao meio ambiente, contaminando as águas, solos e os lençóis freáticos, ocasionando perigo aos seres vivos que podem vir a se contaminar com essas substâncias venenosas, podendo acarretar a morte, em caso da ingestão em quantidades elevadas (Hemalatha *et al.* 2011; Fachina *et al.* 2019; Supong *et al.* 2019).

Os metais considerados tóxicos, tais como Cromo (Cr), Zinco (Zn), Cádmio (Cd), Cobre (Cu) e Níquel (Ni), entre outros, representam um grupo de poluentes que requer um tratamento especial, pois não são degradados quimicamente e nem biologicamente (Alluri *et al.* 2007; Costa *et al.* 2017). Esses elementos vão se bioacumulando com o passar dos anos, vindo a causar doenças e desordens aos animais, plantas e ao homem. No caso do cobre, por exemplo, o seu excesso no organismo humano provoca dores gastrointestinais, anemia aguda em crianças, cirroses, necroses hepáticas em adultos, danos renais, tremores, perda da coordenação e danos psicológicos, vômitos, hipotensão, icterícia, resultando até mesmo em óbito (Roney & Colman 2004; Lima & Merçon 2011; Bost *et al.* 2016).

A busca por encontrar meios que possibilitem a descontaminação do meio ambiente por metais pesados tem sido, recentemente, objeto de estudo de diversos pesquisadores. Alguns métodos tradicionais de remoção de contaminantes em solos e águas, tais como fitorremediação (Silva *et al.* 2019), biorremediação (Andreazza *et al.* 2013), precipitação química (Nemeth *et al.* 2016), troca iônica (Bashir *et al.* 2018), processo de adsorção com carvão ativado (Nguyen *et al.* 2019), tem sido aplicados. Alguns destes métodos requerem alto investimento econômico, não apresentam características sustentáveis e não apresenta eficácia nos efluentes com baixa concentração de metais pesados.

Dentre os métodos citados, o processo de adsorção é uma alternativa atraente para o tratamento de águas contaminadas, principalmente se o adsorvente for de baixo custo e não requerer processos complementares antes ou após o tratamento (Lakherwal 2014). A utilização destes bioadsorventes oferece uma opção de baixo custo para processos de purificação de efluentes, oferecendo também uma alternativa de aproveitamento destes materiais, reduzindo o impacto ambiental de seu descarte (Lucena *et al.* 2012; Silva *et al.* 2013; Bashir *et al.* 2018).

A planta *Dieffenbachia seguine* da família Araceae, popularmente conhecida no Brasil como “comigo-ninguém-pode” ou “aningá-do-pará”, é uma espécie de planta bem resistente, no que se refere a aspectos ambientais. A espécie apresenta hábito herbáceo, com espesso caule ereto, folhas grandes, oblongas, vistosas, pecioladas, verde-escuro brilhante ou verde com tons brancos amarelados, podendo chegar a aproximadamente 2 metros de altura; possui seiva leitosa, de odor pungente e irritante de mucosas (Fook 2014; Silva & Conceição 2017; Santos *et al.* 2019).

De acordo com Schvartsman (1992), as folhas de comigo-ninguém-pode (CNP) possuem grandes quantidades de ânions oxalato ( $C_2O_4^{2-}$ ), além de glicosídeos de natureza não conhecida. O conteúdo de ânions oxalato está relacionado diretamente com a grande capacidade de adsorção de íons metálicos por espécies desse tipo. Esse ânion tem um importante papel na química de formação de compostos de coordenação, atuando com um ligante para capturar íons metálicos (Douglas *et al.* 1986).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a utilização das folhas desidratadas de CNP como bioadsorvente alternativo na remoção de metais pesados de soluções sintéticas que simulam os efluentes. Como objetivos específicos, foram avaliados a adsorção máxima de íons  $Cu^{2+}$  pelas folhas desidratadas da planta e o estudo da cinética de reação.

## Material e Métodos

### Bioadsorvente

As folhas da espécie vegetal CNP foram colhidas na cidade de Belém-PB, brejo paraibano. Estas foram desidratadas em estufa, na temperatura de 105°C, até massa constante. O material foi triturado, macerado em almofariz de porcelana e peneirado até obtenção de um pó.

### Ensaio de adsorção

Soluções sintéticas de sulfato de cobre anidro ( $CuSO_4$ , 98%, VETEC) foram preparadas com concentração de íons  $Cu^{2+}$  variando de 100 mg L<sup>-1</sup>, 200 mg L<sup>-1</sup>, 400 mg L<sup>-1</sup>, 600 mg L<sup>-1</sup>, 800 mg L<sup>-1</sup> e 1000 mg L<sup>-1</sup>.

Os testes de adsorção foram realizados utilizando recipientes de 120 mL de polietileno com tampa, em triplicatas. O ensaio foi composto por 100 mL de solução de sulfato de cobre com 0.5 g do material adsorvente. O sistema ficou sob agitação constante, em temperatura ambiente (27°C), em uma mesa agitadora por 24 horas. Após o tempo de contato, o material adsorvente foi separado da solução por filtração simples. O filtrado foi submetido à análise por espectroscopia de absorção atômica (EAA), de modo a quantificar a presença de íons  $Cu^{2+}$  resultante. A avaliação da quantidade de  $Cu^{2+}$  adsorvida pelo bioadsorvente foi calculada a partir da Equação 1.

$$q = \frac{(C_0 - \bar{C}_e) \cdot V}{m} \quad (1)$$

Onde: q = quantidade de metal adsorvido;  $C_0$  = concentração de  $Cu^{2+}$  inicial;  $\bar{C}_e$  = média das concentrações de  $Cu^{2+}$  após o teste de adsorção; V = volume da solução; m = massa (em gramas) de substrato utilizado.

De modo a confirmar a retenção dos íons  $Cu^{2+}$  pelas folhas do CNP, foi realizado uma incineração das folhas saturadas (após o processo de adsorção) em 500°C por 2 horas, sob taxa de aquecimento de 10°C min<sup>-1</sup>, em uma mufla modelo J200 da JUNG, de modo a promover a calcinação da matéria orgânica e favorecer a formação de óxidos metálicos. O resíduo foi caracterizado por difratometria de raios-X (DRX). Os difratogramas foram registrados em um Difratômetro Shimadzu, modelo XRD-6000, nas seguintes condições: 40 kV e 40 mA com radiação de  $K\alpha Cu$  ( $\lambda = 1.5406$ ), a temperatura ambiente. Os dados foram obtidos na faixa de  $2\theta = 10-80^\circ$ , com um passo de  $0.02^\circ$  e tempo de passo de 2 segundos.

### Quantificação do teor íons oxalatos ( $C_2O_4^{2-}$ )

A determinação do teor de íons oxalatos ( $C_2O_4^{2-}$ ) presentes nas folhas da planta CNP seguiu o procedimento metodológico de permanganimetria, proposto por Day & Underwood (1986). Para a determinação, pesou-se 0.15 g de folhas desidratadas da planta em um erlenmeyer de 250 mL, em seguida, adicionou-se 50 mL de solução de  $H_2SO_4$  1:5. A amostra foi agitada mecanicamente a 60°C durante 1 hora e, em seguida, foi titulada com  $KMnO_4$  0.02 mol L<sup>-1</sup>. Para

maior confiabilidade das análises, os ensaios foram realizados em triplicatas. A massa de íons oxalato e o teor percentual presente (por gramas de folhas de CNP) na amostra foram calculadas pelas Equações 2 e 3, respectivamente.

$$m(\text{CaC}_2\text{O}_4) = M_{\text{KMnO}_4} \cdot V_{\text{KMnO}_4} \cdot MM_{\text{CaC}_2\text{O}_4} \quad (2)$$

$$\%(\text{CaC}_2\text{O}_4) = \frac{m_{\text{CaC}_2\text{O}_4}}{m_{\text{amostra}}} \cdot 100 \quad (3)$$

Onde:  $M_{\text{KMnO}_4}$  é a concentração ( $\text{mol L}^{-1}$ ) do permanganato de potássio;  $V_{\text{KMnO}_4}$  é o volume de permanganato de potássio gasto na titulação (L);  $MM_{\text{CaC}_2\text{O}_4}$  = a massa molar do oxalato de cálcio ( $\text{g mol}^{-1}$ ) e  $m_{\text{amostra}}$  é a massa da amostra (g).

### Estudo cinético

A avaliação da cinética de adsorção foi realizado utilizando soluções de  $\text{CuSO}_4$  com concentração  $600 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Cu}^{2+}$  com volume de 100 mL, utilizando uma massa de adsorvente de 0.5 g na temperatura ambiente. Alíquotas de 5 mL foram retiradas em função da variação do tempo contato ( $\Delta t = 60 \text{ min}$ ), totalizando 480 minutos entre a primeira e a última amostra. Após a separação do adsorvente por filtração, as soluções foram submetidas à quantificação por espectroscopia de absorção atômica (EAA) em um espectrômetro, com atomizador de chama, modelo iCE 3500, da Thermo Scientific. As análises foram realizadas utilizando gás acetileno. As absorvâncias foram medidas em comprimento de onda de 324.8 nm. Como fonte de radiação primária foi utilizada uma lâmpada de cátodo oco contendo cobre, e a correção de fundo foi feita com uma lâmpada de deutério acoplada ao equipamento. A curva padrão foi preparada com uma solução padrão de cobre com concentração de  $1000 \text{ mg L}^{-1}$ .

A cinética de adsorção dos íons  $\text{Cu}^{2+}$  pelas folhas CNP foram avaliados a partir dos modelos cinéticos de pseudoprimeira ordem (Equação 4) e pseudossegunda ordem (Equação 5).

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} \cdot t \quad (4)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2(q_e)^2} + \frac{1}{q_e} \cdot t \quad (5)$$

Onde:  $q_e$  é a capacidade de adsorção no equilíbrio ( $\text{mg g}^{-1}$ );  $q_t$  é a quantidade de metal adsorvida no tempo  $t$  (min);  $k_1$  ( $\text{min}^{-1}$ ) e  $k_2$  ( $\text{g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ) são as constantes de velocidade referente a primeira e segunda ordem, respectivamente.

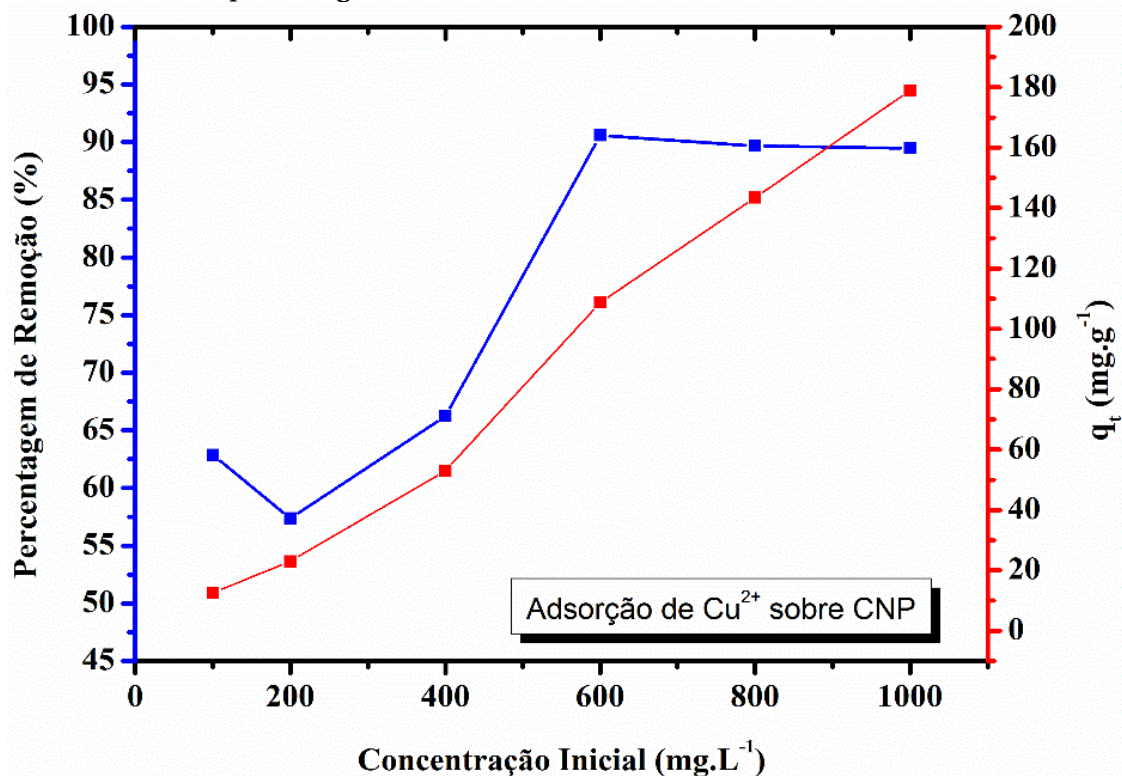
### Resultados e Discussão

A **Figura 1** apresenta as percentagens de adsorção dos íons  $\text{Cu}^{2+}$  pelo bioadsorvente e a capacidade de adsorção ( $q_t$ ), em diferentes concentrações após o tempo de contato de 24 horas.

Os resultados observados na **Figura 1** mostraram que na faixa de concentração entre 100 e  $600 \text{ mg L}^{-1}$  a adsorção de íons  $\text{Cu}^{2+}$  pelas folhas de CNP apresentou crescimento em função do aumento da concentração inicial do íon metálico, atingindo 93% de remoção para a concentração inicial de  $600 \text{ mg L}^{-1}$ . Para concentrações superiores a esta, o percentual de remoção não apresentou crescimento, mantendo-se praticamente constante até  $1000 \text{ mg L}^{-1}$ . No que se refere à capacidade de adsorção ( $q_t$ ), os dados mostraram um crescimento linear, em



função do aumento da concentração inicial, com valores que variaram de 12.27 mg a 178.67 mg de metal adsorvido por cada grama de folhas de CNP.



**Figura 1.** Percentagens de remoção de  $\text{Cu}^{2+}$  e capacidade de adsorção ( $q_t$ ) das folhas da planta CNP em diferentes concentrações do íon metálico.

Um estudo semelhante a este, utilizando as folhas das plantas erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl) e taioba-brava (*Colocasia antiquorum* Schott) como bioadsorventes na remoção de  $\text{Cu}^{2+}$  foi realizado por Lucena *et al.* (2012). De acordo com os autores, os maiores percentuais de remoção ocorreram em concentrações de 200 mg L<sup>-1</sup>, com valores máximos de 80%, situação justificada pelo aumento da concentração inicial do processo adsorvativo. Em ambas as plantas, os autores atribuíram os resultados a presença de íons oxalatos presentes nas estruturas das folhas. Avaliando a remoção de  $\text{Cu}^{2+}$  pela bioadsorção através das folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), o máximo obtido por Pereira (2017) foi de 80,2%. Desta forma, os resultados obtidos no presente trabalho apresentaram-se superiores ao que tem sido reportado na literatura.

A capacidade adsorvativa das folhas de CNP pelos íons metálicos, em especial os íons de metais de transição, ocorre devido à formação de ligações químicas entre os íons metálicos e os ânions ligantes presentes na composição estrutural da planta. A ligação formada entre essas espécies é do tipo covalente coordenada, daí as espécies químicas formadas são denominadas de compostos de coordenação (Lee 1999). Um dos principais ânions ligantes presentes nas plantas é o oxalato ( $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ). De acordo com Siener *et al.* (2006) o oxalato está acumulado em todo o tecido do vegetal, no entanto, seu teor é consideravelmente mais elevado nos caules e nas folhas. Conforme já fora citado, a planta CNP apresenta elevados teores de oxalato em suas folhas (Schvartsman 1992).

A grande capacidade do ânion oxalato em capturar (se ligar a) cátions metálicos é originada por dois fatores: (a) ser um ligante bidentado, o que provoca um considerável efeito entrópico (um aumento de entropia leva a uma diminuição da energia livre de Gibbs, favorável sob o ponto de vista termodinâmico); (b) para cátions metálicos que não sejam elementos de transição, os sais formados com o ânion oxalato, têm uma constante de produto de solubilidade (Kps) muito pequena, fazendo com que os sais formados tenham uma tendência a precipitar ou

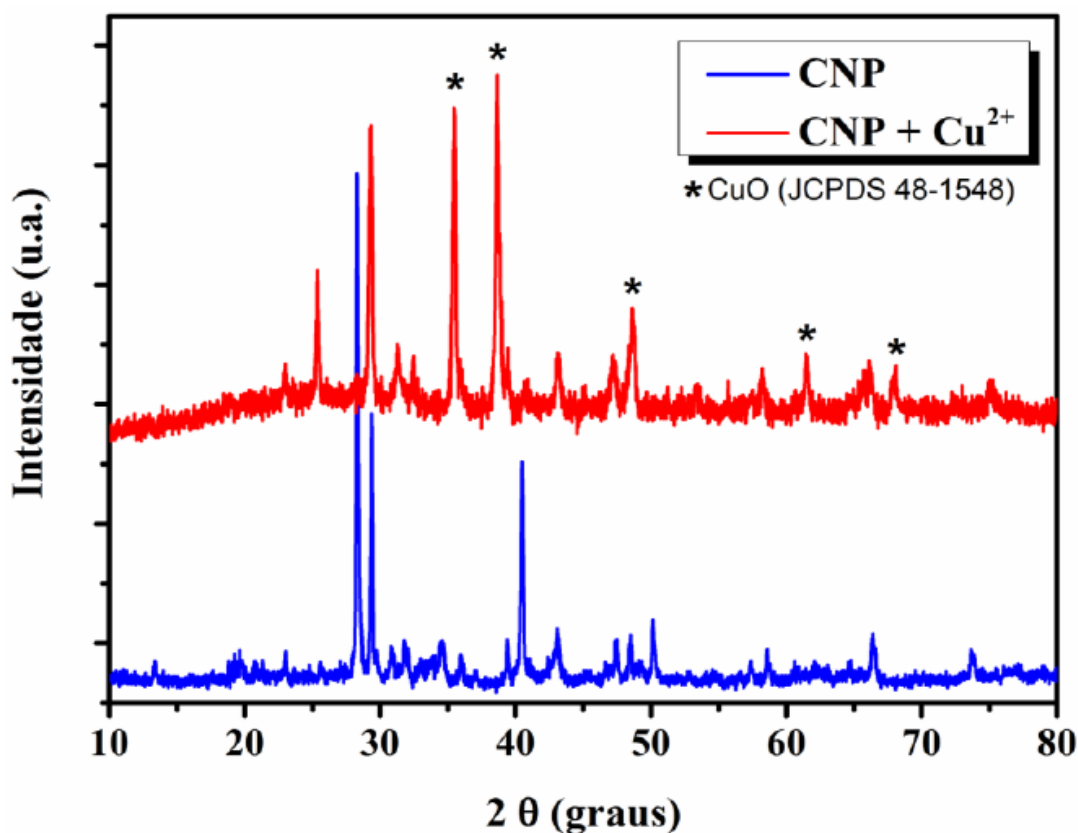
dentro de um organismo vivo (plantas), tenham sua mobilidade extremamente reduzida (Kotz & Treichel 2002).

A **Tabela 1** apresenta a quantidade de oxalato de cálcio presente na massa seca da planta CNP. Estimou-se que a massa de oxalato (na forma de oxalato de cálcio ( $\text{CaC}_2\text{O}_4$ )) presentes nas folhas desidratadas foi de 0.0598g, o que corresponde a 39.8% em massa. Sendo assim, acredita-se que este seja o responsável pela eficiência adsorvativa observada nestes ensaios.

**Tabela 1.** Quantidade de oxalato de cálcio presentes nas folhas desidratadas de CNP.

| Bioadsorvente | massa de $\text{CaC}_2\text{O}_4$ (g) | Percentagem de $\text{CaC}_2\text{O}_4$ (%) |
|---------------|---------------------------------------|---|
| CNP           | 0.0598±0.0006                         | 39.8  |

A **Figura 2** apresenta o difratograma de raios-X das folhas de CNP antes e após o processo de adsorção.

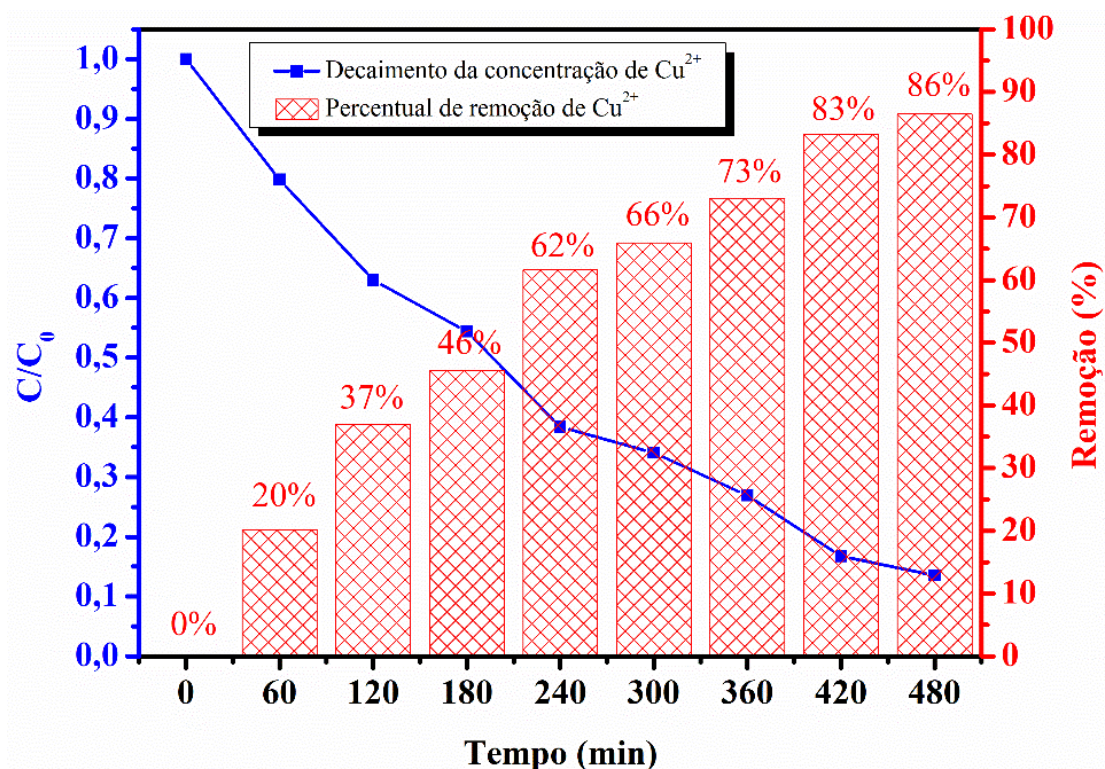


**Figura 2.** Difratograma de raios-X das folhas de CNP antes e após a adsorção de  $\text{Cu}^{2+}$ , após a calcinação em  $500^\circ\text{C}$  por 2 horas.

Os difratogramas mostraram que as folhas de CNP (antes do processo de adsorção) não apresentaram picos de difração referente ao óxido de cobre, enquanto que para as folhas saturadas de CNP ( $\text{CNP} + \text{Cu}^{2+}$ ) foram visualizados picos característicos do  $\text{CuO}$  monoclinico, indicando que o  $\text{Cu}^{2+}$  adsorvido da solução ficou retido nas folhas. Estes resultados corroboram com os resultados observados nos testes adsorção mediante avaliação por absorção atômica.

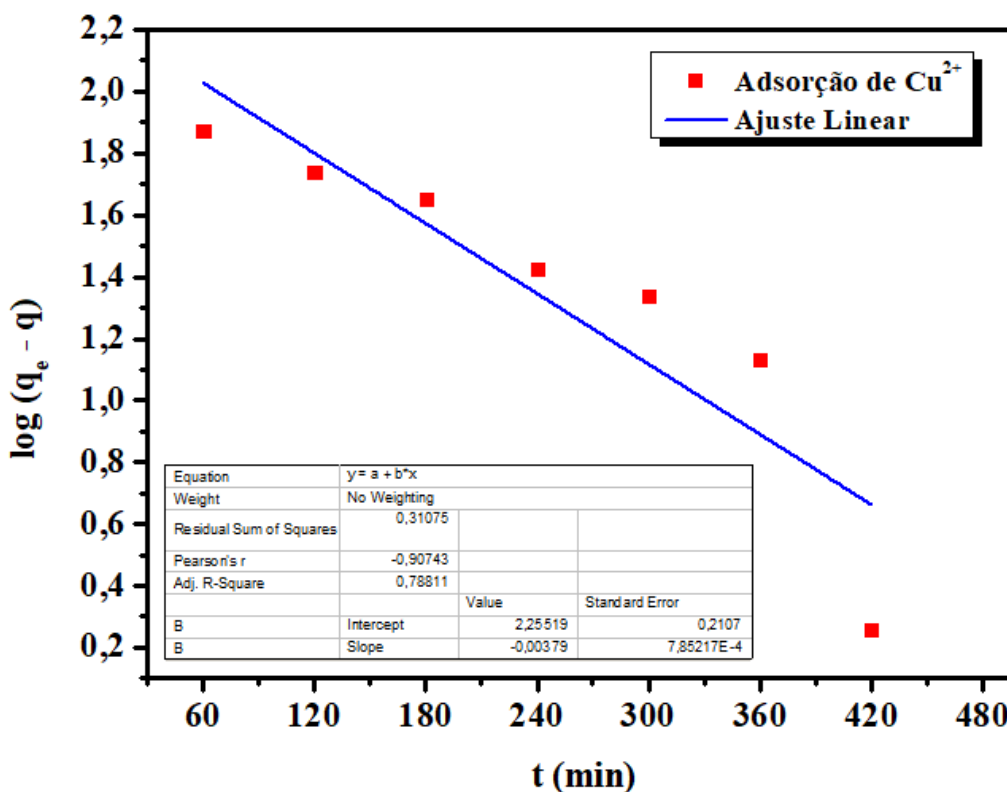
As análises da capacidade de adsorção ( $q_e$ ) do bioadsorvente de CNP foram realizados em função do tempo de contato, mantendo-se fixa a concentração inicial ( $600 \text{ mg L}^{-1}$ ), sendo constatados na **Figura 3** os resultados desse estudo.

É possível perceber que aos 240 minutos do início do processo ocorre um decaimento linear na concentração de íons  $\text{Cu}^{2+}$  atingindo 62% de remoção. No entanto, percebe-se que acima deste intervalo o decaimento continua a ocorrer de forma mais lenta, atingindo 83% de remoção em 420 minutos, sendo que após esse tempo o efeito tende a ser constante.



**Figura 3.** Decaimento da concentração de íons Cu<sup>2+</sup> devido a adsorção das folhas de CNP em função do tempo de contato, evidenciando os percentuais de remoção em cada instante.

Diferentes modelos cinéticos são utilizados para interpretar os dados experimentais, a fim de compreender a cinética de adsorção. As **Figuras 4 e 5** apresentam as curvas de pseudoprimeira ordem e pseudossegrunda ordem, respectivamente, para o sistema adsorvativo (CNP + Cu<sup>2+</sup>).



**Figura 4.** Gráfico de pseudoprimeira ordem para a adsorção de Cu<sup>2+</sup> pelas folhas de CNP.

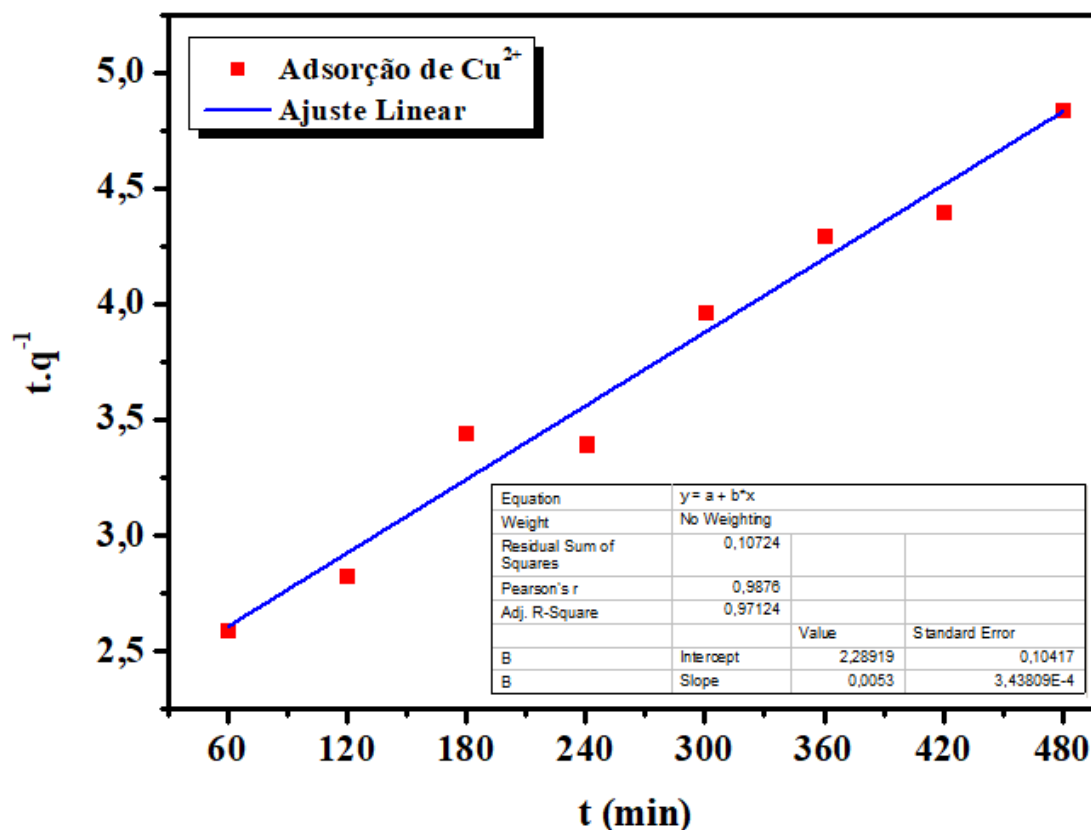


Figura 5. Gráfico de pseudosegunda ordem para a adsorção de Cu<sup>2+</sup> pelas folhas de CNP.

Com base no perfil do gráfico e a partir dos valores dos coeficientes de correlação ( $R^2$ ), mostrados nas Figuras 4 e 5, verificou-se os valores de 0,78811 e 0,97124, respectivamente, o que indica que para o estudo realizado, a adsorção tende a comportar-se cineticamente obedecendo ao modelo matemático de pseudosegunda ordem. Conforme reportado por Ho & McKay (1999), os processos de adsorção que obedecem ao modelo de pseudosegunda ordem têm como característica, na etapa limitante, a quimiossorção, ou seja, a sorção via interação química. Esta observação corrobora a hipótese levantada neste trabalho, reforçando a tese de que os íons oxalatos ( $C_2O_4$ )<sup>2-</sup> presentes nas folhas de CNP sejam o principal composto responsável pela adsorção de Cu<sup>2+</sup> nestes sistemas. Partindo desta observação, podem-se estimar os valores da constante de velocidade ( $K_2$ ) e a capacidade máxima de adsorção ( $q_e$ ). Os valores estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros cinéticos de pseudosegunda ordem.

| Bioadsorvente | $K^2$<br>( $g\ mg^{-1}\ min^{-1}$ ) | $q_e$<br>( $mg\ g^{-1}$ ) | $R^2$   |
|---------------|-------------------------------------|---------------------------|---------|
| CNP           | $1,227 \times 10^{-5}$              | 188,67                    | 0,97124 |

Mediante os parâmetros cinéticos apresentados na Tabela 2, verificou-se que a capacidade máxima de adsorção das folhas de CNP pelos íons Cu<sup>2+</sup> foi de 188,67 mg por cada grama de folha. Este dado apresenta proximidade com o valor encontrado nos ensaios preliminares mostrado na Figura 1, o qual indicou uma capacidade máxima de 178,67 mg g<sup>-1</sup>.

## Conclusão

Os resultados indicaram que o bioadsorvente testado neste trabalho apresentou eficácia na descontaminação de Cu<sup>2+</sup>. A eficiência do material pode ser atribuída aos ânions oxalatos



presentes nas folhas, os quais favorecem o processo de quimissorção. Os dados cinéticos mostraram que a adsorção se ajustou ao modelo cinético de pseudossegunda ordem.

A utilização do bioadsorvente no processo investigado propõe um mecanismo de descontaminação eficiente, de baixo custo e elevado valor ecológico, além de promover uma funcionalidade a uma espécie de planta tóxica.

## Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao Laboratório de Combustíveis e Materiais (NPE – LACOM) e ao Laboratório de Cromatografia e Espectrometria de Absorção Atômica (LACEAA), ambos da Universidade Federal da Paraíba, pelo apoio na caracterização e análises realizadas bem como as críticas dos avaliadores.

## Referências

- Alluri H.K., Ronda S.R., Settalluri V.S., Bondili V.S., Suryanarayana V. & Venkateshwar P. (2007) Biosorption: An eco-friendly alternative for heavy metal removal. *African Journal of Biotechnology*, 6(11): 2924–2931. <https://doi.org/10.5897/AJB2007.000-2461>
- Andreazza R., Camargo F.A.O., Antonioli Z.L., Quadro M.S. & Barcelos A.A. (2013) Biorremediação de áreas contaminadas com cobre. *Revista de Ciências Agrárias*, 36(2): 127–136.
- Bashir A., Malik L.A., Ahad S., Manzoor T., Bhat M.A., Dar G.N. & Pandith A.H. (2018) Removal of heavy metal ions from aqueous system by Ion exchange and biosorption methods. *Springer Nature Switzerland*, 17(2): 1495–1521. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-00828-y>
- Bost M., Houdart S., Oberli M., Kalonji E., Huneau J. & Margaritis I. (2016) Dietary copper and human health: Current evidence and unresolved issues. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 35: 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2016.02.006>
- Costa D.A., Mendonça R.H. & Wysard Junior M. (2017) Evaluation of removal of chromium (III) by composite porous adsorbents materials of PE-g-MA, coconut fiber and chitosan using experimental design. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 22(6): 1203–1213. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017119214>
- Day R.A. & Underwood A.L. (1986) Qualitative analysis. New Delhi: Prentice Hall Publications. 701 p.
- Douglas B., Alexander J. & McDaniel D. (1986) Concept and models of the inorganic chemistry. New York: John Wiley & Sons. 171 p.
- Fachina Y.J., Demiti G.M.M., Januário E.F.D., Guerra A.C.S., Bergamasco R. & Vieira A.M.S. (2019) Avaliação de adsorvente magnético à base de óxido de grafeno para remoção de bisfenol da água. Encontro Internacional de Produção Científica. Anais Eletrônico, UNICESUMAR. Disponível em: <http://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/3740> (Acesso em 28/10/2020).
- Fook S.M.L., Soares Y.C., Almeida C.F., Abrantes R.B., Meira M.B.S., Feitosa I.L.F.F. & Mariz S.R. (2014) Análise da ocorrência de plantas tóxicas em escolas estaduais no município de Campina Grande (PB) como estratégia na prevenção de intoxicações. *Revista Saúde e Ciência*, 3(1): 44–55.
- Hemalatha R., Chitra R., Xavier R.R. & Sudha P.N. (2011) Synthesizing and characterization of chitosan graft co polymer: Adsorption studies for Cu (II) and Cr (VI). *International Journal of Environmental Sciences*, 2(2): 805–828.
- Ho Y.S. & McKay G. (1999) Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5): 451–465. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00112-5)
- Kotz J.C. & Treichel P.J. (2002) Química e reações químicas. Rio de Janeiro: LTC (Livros técnicos e científicos LTDA). 295 p.
- Lakherwal D. (2014) Adsorption of heavy metals: A review. *International Journal of Environmental Research and Development*, 4(1): 41–48.
- Lee J.D. (1999) Química inorgânica não tão concisa. 5ª edição. São Paulo: Edgar Blücher. 99 p.

- Lima V.F. & Merçon F. (2011) Metais pesados no ensino de química. *Química Nova na Escola*, 33(4): 199–205.
- Lucena G.L., Silva A.G., Honório L.M.C. & Santos V.D. (2012) Cinética de adsorção de cobre (II) utilizando bioadsorventes. *Scientia Plena*, 8(9): 1–6.
- Németh G., Mlinárik L. & Török Á. (2016) Adsorption and chemical precipitation of lead and zinc from contaminated solutions in porous rocks: Possible application in environmental protection. *Journal of African Earth Sciences*, 122: 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.04.022>
- Nguyen K.M., Nguyen B.Q., Nguyen H.T. & Nguyen H.T. (2019) Adsorption of Arsenic and heavy metals from solutions by unmodified iron-Ore sludge. *Applied Sciences*, 9(4): 619–632. <https://doi.org/10.3390/app9040619>
- Pereira J.E.S. (2017) Biossorção de cobre em solução aquosa utilizando os pós das folhas do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) e da carnaúba (*Copernicia prunifera*). Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Natal.
- Roney N. & Colman J. (2004) Interaction profile for lead, manganese, zinc, and copper. *Environmental toxicology and pharmacology*, 18(3): 231–234. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2004.01.008>
- Santos E.M., Gomes K.M., Maior L.P.S., Trajano L.Q.C., Fonseca S.A., Rocha T.J.M. & Santos A.F. (2019) Perfil dos casos de intoxicação por plantas em humanos no estado de Alagoas. *Diversitas Journal*, 4(1): 292–305.
- Schvartsman S. (1992) Plantas venenosas e animais peçonhentos. São Paulo: Sarvier. 288 p.
- Siener R., Hönow R., Seidler A., Voss S. & Hesse A. (2006) Oxalate contents of species of the Polygonaceae, Amaranthaceae and Chenopodiaceae families. *Food Chemistry*, 98(2): 220–224. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.059>
- Silva E.H.D. & Conceição J.L. (2017) Levantamento de plantas tóxicas em escolas municipais de Codó-Ma. Monografia (Licenciatura em Ciências Naturais/Biologia). Universidade Federal do Maranhão, Codó.
- Silva T.J., Hansted F., Tonello P.S. & Goveia D. (2019) Fitorremediação de solos contaminados com metais: Panorama atual e perspectivas de uso de espécies florestais. *Revista Virtual de Química*, 11(1): 18–34. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190003>
- Silva M.S.P., Raulino G.S.C.R., Vidal C.B., Lima A.C.A. & Nascimento R.F. (2013) Influência do método de preparo da casca do coco verde como biossorvente para aplicação na remoção de metais em soluções aquosas. *Revista DAE*, 193: 66–73.
- Supong A., Bhomick P.C., Baruah M., Pongener C., Sinha U.B. & Sinha D. (2019) Adsorptive removal of bisphenol a by biomass activated carbon and insights into the adsorption mechanism through density functional theory calculations. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 13: 100159. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100159>