

Artigo

Estudo de Remoção de Cu(II) em Meio Aquoso Utilizando Carvão Preparado a partir da Casca do Licuri (*Syagrus coronata*)

Sá, Í. P.; Filho, E. O. S.; Nascimento, W. G.; Ferreira, M. L. O.; Braga, V. S.; Estrela, T. S.; Castro, G. R.; Amorim, F. A. C.*

Rev. Virtual Quim., 2017, 9 (5), 2121-2134. Data de publicação na Web: 31 de outubro de 2017

<http://rvq.sbg.org.br>**Study of the Cu(II) Removal from Aqueous Medium Using Carbon Prepared from Licuri Shell (*Syagrus coronata*)**

Abstract: Different alternatives for the removal of metals in waters and effluents are used, and the adsorption is a widely used method. This study aimed to preparation of the activated carbon from the shell of licuri (*Syagrus coronata*) coconut (LAC) and its use for the removal of Cu (II) ions from aqueous solution by optimizing the adsorption conditions. The material was calcined, and subsequently ground and sieved, followed by chemical activation with sulfuric acid. The equilibrium experimental conditions were obtained from pH 8, temperature 25 ± 1 °C, mass 100 mg of LAC, Cu (II) solution volume of 40 ml and adsorption time of 60 minutes. Under these conditions, the maximum adsorption capacity was of 26 mg g^{-1} and 10 mg g^{-1} , respectively, for solutions containing 80 and 20 mg L^{-1} of Cu (II), representing a removal of 25% and 60%, respectively. Experimental data indicate better suitability for the kinetic model pseudo 2nd order ($R^2 = 0.981$) and adsorption isotherm best correlated to the Langmuir model ($R^2 = 0.996$). The results showed satisfactory efficiency for the removal Cu (II) in aqueous solutions from a simple and low cost method, using as adsorbent an agricultural residue widely produced in Brazil.

Keywords: Copper adsorption; *Syagrus coronata*; licuri coconut; activated carbon.

Resumo

Diferentes alternativas para a remoção de metais em águas e efluentes são utilizadas, sendo a adsorção um método amplamente utilizado. Este trabalho teve como objetivo a preparação de carvão ativado a partir da casca do coco do licuri (*Syagrus coronata*), bem como a sua utilização para a remoção de íons Cu(II) de meio aquoso, otimizando as condições de adsorção. O material foi calcinado, sendo posteriormente triturado e peneirado, seguido da ativação química com ácido sulfúrico. As condições experimentais de equilíbrio foram obtidas em pH = 8, temperatura 25 ± 1 °C, massa de 100 mg do carvão proposto, volume de 40 mL de solução de Cu(II) e tempo de adsorção 60 minutos. Nessas condições, a capacidade de adsorção máxima variou de 26 mg g^{-1} a 10 mg g^{-1} , respectivamente, para soluções contendo 80 e 20 mg L^{-1} de Cu(II), representando uma remoção de 25% a 60%, respectivamente. Os dados experimentais indicaram melhor adequação para o modelo cinético de pseudo 2ª ordem ($R^2 = 0,981$) e para isoterma de adsorção melhor correlacionada com o modelo de Langmuir ($R^2 = 0,996$). Os resultados mostraram eficiência satisfatória para remoção de Cu(II) em soluções aquosas, a partir de um método simples, de baixo custo, e que utiliza como adsorvente um resíduo agrícola amplamente disponível no Brasil.

Palavras-chave: Adsorção de cobre; *Syagrus coronata*; côco de licuri; carvão ativado.

* Universidade Estadual de Santa Cruz, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Rodovia Jorge Amado km 16, CEP 45662-900, Ilhéus-BA, Brasil.

✉ facamorim@uesc.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20170126](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170126)

Estudo de Remoção de Cu(II) em Meio Aquoso Utilizando Carvão Preparado a partir da Casca do Licurí (*Syagrus coronata*)

Ívero P. Sá,^a Emanuel O. S. Filho,^a Wesley G. Nascimento,^a Márcio L. O. Ferreira,^a Valdeilson S. Braga,^b Tiago dos S. Estrela,^c Gustavo R. Castro,^d Fábio A. C. Amorim^{a,*}

^a Universidade Estadual de Santa Cruz, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Ilhéus - Ba, Brasil.

^b Universidade Federal do Oeste da Bahia, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Barreiras - Ba, Brasil.

^c Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Paulo Afonso, Paulo Afonso - BA, Brasil.

^d Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Botucatu - SP, Brasil.

* facamorim@uesc.br

Recebido em 30 de outubro de 2017. Aceito para publicação em 30 de outubro de 2017

1. Introdução

2. Material e Métodos

- 2.1. Instrumentação e reagentes
- 2.2. Preparação e caracterização do carvão ativado
- 2.3. Estudo do pH
- 2.4. Estudo do tempo e cinética de adsorção
- 2.5. Estudo da concentração e isothermas de adsorção

3. Resultados e discussão

- 3.1. Caracterização do adsorvente
- 3.2. Estudo do pH
- 3.3. Estudo do tempo e cinética de adsorção
- 3.4. Estudo da concentração inicial de Cu(II) e isothermas de adsorção

4. Conclusões

1. Introdução

O objetivo de controlar a poluição da água na aplicação industrial é minimizar a geração

de contaminantes tóxicos como os metais.¹ Muitos métodos convencionais como precipitação, coagulação, oxidação e técnica biológicas podem ser utilizadas para remoção de corantes e íons metálicos da água.² A

bioadsorção é uma técnica de remoção de constituintes indesejados em águas e efluentes considerada viável pela boa eficiência, elevada disponibilidade de matéria prima e baixo custo.¹ Dentre essas técnicas, a utilização do carvão ativado é amplamente explorada, por poder ser preparado a partir de resíduos agrícolas tais como casca de amendoim, palha de coco, farelo de trigo, casca de arroz, casca de batata, sabugo de milho, casca de tamarindo, compósitos de argila, palha de milho, entre outros.³⁻¹¹

O carvão ativado (CA) é um material carbonáceo e poroso preparado pela carbonização e ativação de substâncias orgânicas, principalmente de origem vegetal.¹² São utilizados extensamente para a adsorção de poluentes em fases gasosas e líquidas, como suporte para catalisadores, na purificação de vários compostos, no tratamento de efluentes entre outras finalidades.^{13,14} Um dos métodos de ativação do carvão é o químico, que tem sido objeto de estudo por apresentar algumas vantagens, como menor temperatura de pirólise e maior rendimento.¹⁵ No processo de ativação química são utilizados reagentes ativantes com propriedades ácidas, tais como: H_3PO_4 , HCl e H_2SO_4 , além de reagentes básicos como KOH e NaOH.^{16,17}

Uma grande variedade de técnicas têm sido utilizadas para o tratamento de efluentes e especialmente a adsorção em carvão ativado,¹⁸⁻²⁰ é um dos processos que vem dando resultados promissores, bem como pode ser aplicado para remoção de diferentes tipos de analitos de natureza orgânica e inorgânica, tornando-se uma técnica de tratamento atrativa.²¹⁻²³

O licuri (*Syagrus coronata*) é uma palmeira bem adaptada às regiões secas e áridas da caatinga, sendo cultivada principalmente na Bahia, e possui grande potencial alimentício, ornamental e forrageiro. O licuri (*Syagrus coronata*) (Martius) Beccari, pertence a família *Arecaceae*, subfamília *Arecoideae*, tribo *Cocoeae*, subtribo *Butineae*. É uma palmeira típica do semiárido nordestino, a espécie tem uma nítida preferência pelas regiões secas e áridas das caatingas,

abrangendo o norte de Minas Gerais, ocupando toda a porção oriental e central da Bahia, até o sul de Pernambuco, incluindo também os Estados de Sergipe e Alagoas, sendo conhecida ainda por aricuri, nicuri, alicuri e ouricuri.²⁴

Este trabalho teve por objetivo preparar carvão ativado a partir da casca do coco de licuri (carvão ativado de licuri - CAL) e avaliar a sua utilização como adsorvente para remoção de íons Cu(II) em meio aquoso. As condições de adsorção foram estudadas para estabelecer as melhores características cinéticas e termodinâmicas de adsorção e remoção dos íons Cu(II) no adsorvente proposto.

2. Material e Métodos

2.1. Reagentes e soluções

Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico. Toda vidraria utilizada foi descontaminada em solução de ácido nítrico 10 % (v/v) e lavada duas vezes com água deionizada. As soluções de Cu(II) foram preparadas a partir do nitrato de cobre(II) (Vetec). Uma solução de 1000 mg L⁻¹ foi preparada e a partir da diluição dela foram preparadas soluções em concentração de 1 a 160 mg L⁻¹. O reagente 1,2-(piridil)azo-naftol (Sigma Aldrich) foi dissolvido em etanol (Merk) para preparar a solução cromófora 0,05 % m/v. Soluções tampões de acetato de sódio (Merk), acetato de amônio (Merk), tetraborato de sódio (Sigma Aldrich), hidróxido de amônio (Merk) foram devidamente preparadas utilizando soluções de HCl, HNO₃ e NaOH (Merk) para ajustar o pH.

2.2. Instrumentação

O Espectrofotômetro de absorção molecular no UV-Vis Thermo Fscher Scientific modelo Aquamate-Plus foi utilizado para

determinação do teor de Cu(II) nas soluções. A curva de calibração foi realizada a partir de soluções de Cu(II) 1 a 5 mgL⁻¹ tamponada em pH = 8 e adição de 300 µL da solução de 1,2-(piridil)azo-naftol como reagente cromóforo.

A caracterização do adsorvente proposto foi realizada através da análise da área superficial no equipamento Micrometrics ASAP 2010 v5.01. Os grupos funcionais presentes no CAL foram determinados por FTIR da marca Perkin-Elmer modelo Spectrum 400 MIR/NIR na faixa de 4000-400 cm⁻¹.

Foram utilizados também balança analítica GEHAKA modelo AG200, mesa agitadora orbital NOVA ÉTICA modelo 109, pHmetro HANNA modelo pH 21, e forno mufla QUIMIS.

2.3. Preparação e caracterização do carvão ativado

As cascas dos frutos de licuri (*Syagrus coronata*) foram adquiridas diretamente com produtores rurais da cidade Calderão Grande - BA. Após lavagem e secagem, as cascas foram calcinadas a 400 °C em forno mufla, trituradas e peneiradas. Então, o carvão foi ativado com solução de H₂SO₄ 1:1 (v/v) por 12 horas, seguida de lavagem com água deionizada até pH = 5 e secagem em estufa a 110 °C. Esse material adsorvente foi denominado CAL (carvão ativado de licuri).

As características texturais do carvão ativado (análise da área superficial específica e porosidade) foram realizadas empregando

o equipamento ASAP 2010 da Micrometrics. As amostras foram submetidas a um pré-tratamento sendo aquecidas a 120°C em estufa por 3h, evacuadas até 10 µmHg, por 30 min e novamente aquecidas a 100°C min⁻¹ até 700°C, por 60 min. Em seguida, iniciou-se a análise, que consistiu na evacuação, até não haver considerável liberação de compostos voláteis.

Na caracterização dos grupos funcionais por infravermelho, a amostra de CAL foi diluída em KBr e transformado em pequena pastilha circular, sendo analisada em espectrômetro FTIR da Perkin-Elmer Spectrum 400 MIR/NIR na faixa de 4000-400 cm⁻¹. Em cada análise 0,070 g de amostra foi prensado, utilizando-se 8 t por 5 min, na preparação da pastilha. O espectro foi obtido a partir da acumulação de 10 varreduras em números de ondas de 4000 a 400 cm⁻¹ com uma resolução de 4 cm⁻¹.

2.4. Estudo do pH

O pH foi estudado em sistemas contendo solução de 30 mL de Cu(II) 50 mg L⁻¹ variando o pH de 2 a 9 mediante a adição de HCl ou NaOH e a massa de CAL em 100 mg onde foi mantida por agitação por 1 h em mesa agitadora orbital e a concentração residual de Cu(II) foi determinada por Espectrofotômetro de absorção molecular no UV-Vis.

A quantidade de Cu(II) adsorvida em CAL foi determinada pela equação 1.

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde Q_e, é a capacidade de adsorção no equilíbrio (em mg g⁻¹), C₀ concentração inicial do metal (em mg L⁻¹), C_e a concentração do metal em equilíbrio (em mg L⁻¹), V é o volume

de solução contendo adsorbato (em L) e m a massa (em g) do adsorvente. O percentual de remoção foi obtido utilizando a equação 2:

$$R\% = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad \text{Eq.2}$$

Onde R %, é a porcentagem de remoção de cobre, C_0 concentração inicial do metal (em mg L^{-1}), e C_e a concentração do metal em equilíbrio (em mg L^{-1}).

2.5. Estudo do tempo e cinética de adsorção

O estudo do tempo de adsorção foi realizado com 30 mL da solução de Cu(II) 50 mg L^{-1} , pH = 8, a temperatura de 25 ± 1 °C e contendo 100 mg de CAL. Os sistemas foram

mantidos sob agitação e, em intervalos de tempo de 5 minutos até 24 horas, a adsorção foi cessada e o meio aquoso foi separado do adsorvente por filtração. A concentração de Cu(II) remanescente no meio aquoso foi determinada e o percentual de Cu(II) adsorvido foi determinado de acordo a equação 2.

A cinética de adsorção do Cu(II) no adsorvente foi analisada em termos das equações de pseudo 1ª ordem e pseudo 2ª ordem.²⁵⁻²⁸ A equação de pseudo 1ª esta representada na equação 3:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad \text{Eq. 3}$$

Onde k_1 (min^{-1}) é a constante de velocidade de sorção de pseudo 1ª ordem, q_t (mg g^{-1}) denota a quantidade adsorvida no tempo t (min) e q_e (mg g^{-1}) é a quantidade

adsorvida no equilíbrio. Depois de definido a integração pela aplicação da condição $q_t = 0$ no $t = 0$ e $q_t = q_t$ no $t = t$ a equação (3) se torna:

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

A constante de sorção, k_1 , pode ser obtida a partir da inclinação linear gerada através da confecção do gráfico de $\log(q_e - q_t)$ em

função de t .

A equação de pseudo 2ª ordem pode ser escrita como:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad \text{Eq. 5}$$

Onde k_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{min}$) é a constante de velocidade. Integrando a equação (5) e

aplicando as condições $q_t = 0$ no $t = 0$ e $q_t = q_t$ no $t = t$ tem-se:

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad \text{Eq. 6}$$

A seguinte equação pode ser obtida no rearranjo da equação (6) em uma forma

linear:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad \text{Eq. 7}$$

A constante de sorção, K_2 e q_e podem ser obtidas pela interseção e inclinação, geradas a partir da confecção do gráfico de t/q_t em função de t .

2.6. Estudo da concentração inicial e das isotermas de adsorção

Amostras de 100 mg de CAL foram posta em contato em soluções de 30 mL de Cu(II) em concentrações variáveis de 20 a 140 mg L⁻¹. O sistema foi mantido sob agitação constante por 1 h e temperatura de 25 ± 1 °C. Então, filtrou-se para determinação da concentração de Cu(II) remanescente no

meio aquoso, e o percentual de Cu(II) adsorvido foi determinado de acordo a equação 2.

Para o estudo da isoterma foi considerado a relação entre a quantidade de substância adsorvida por unidade de massa do adsorvente em temperatura constante e a essa concentração na solução de equilíbrio é chamada de Isoterma.²⁵⁻²⁸ As isotermas de Langmuir (equação 9) e Freundlich (equação 10) são os modelos mais frequentemente usados para representar fenômenos de adsorção em meio aquoso. As formas linearizadas dos modelos de isotermas de Langmuir e Freundlich podem ser representadas pelas equações a seguir:

$$\frac{C_e}{x/m} = \frac{1}{K_L V_m} + \frac{C_e}{V_m} \quad \text{Eq. 9}$$

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad \text{Eq. 10}$$

Onde, C_e é a concentração do metal em fase aquosa em equilíbrio, x/m a quantidade de Cu(II) adsorvido por unidade de massa do CAL, m é a massa do adsorvente, V_m (mg g⁻¹) a capacidade máxima de adsorção, e K_L e K_F são constantes de equilíbrio.

3. Resultados e discussão

3.1. Caracterização do adsorvente

A área superficial específica foi medida por adsorção de nitrogênio e calculada sendo 71,4 m² g⁻¹ com volume de poros de 0,0361 cm³ g⁻¹ e tamanho do poro de 20,5 Å obtida a partir do método de BET.²⁹ Esses valores não são considerados altos, fato que pode ser explicado pela presença do oxigênio como complexo na forma C_xO_y, que não pode ser deslocado pelo nitrogênio pois a calcinação foi realizada em atmosfera ambiente e não

em atmosfera inerte com N₂, que agiria como ativador da formação de microporos elevando assim a área.²⁹ A opção por realizar a ativação em atmosfera ambiente é justificada pois as cascas do licuri são utilizadas como fonte de calor e os resíduos de cinza e carvão resultante da queima podem ser posteriormente utilizados com adsorvente, não havendo necessidade de equipamentos de laboratório para produzir o carvão.

O espectro de infravermelho da Figura 1 mostra os grupos funcionais presentes na superfície do CAL. As possíveis atribuições aos picos são: 3600-3000 cm⁻¹ vibração de estiramento da ligação OH de álcoois e fenóis, 1696 cm⁻¹ vibração de estiramento de cetona, 1589 cm⁻¹ vibração simétrica e assimétrica de estiramento de COO- ou vibração C=C de aromáticos, e 1200 cm⁻¹ vibração de estiramento de C=S.³⁰ Esses grupos presentes na superfície do CAL melhoram a adsorção de íons metálicos, agindo com auxiliar na adsorção.

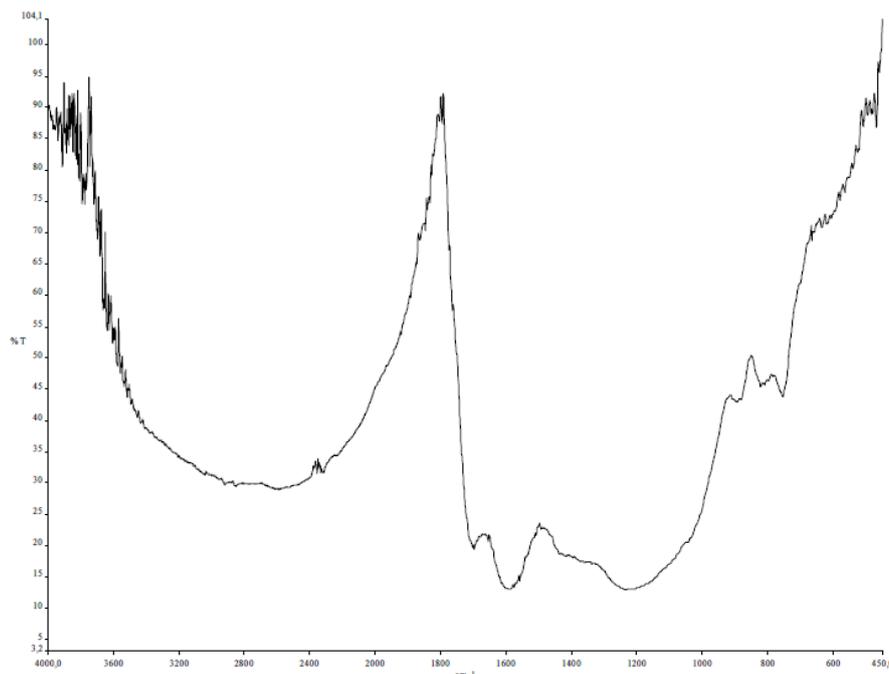


Figura 1. Espectro FTIR do carvão ativado derivado do coco de licuri (CAL)

3.2. Estudo do pH

O pH é um importante fator que afeta a remoção de cátions em soluções aquosas. A dependência da adsorção do metal em pH está relacionada ao tipo de metal que está em solução e ao estado de ionização do grupo funcional do adsorvente o que afeta a disponibilidade dos sítios de ligação.²⁹

Nas condições estabelecidas, os experimentos foram realizados em pH na faixa de 2 a 9, e conforme apresentado na Figura 2, observa-se que o pH é um fator importante na adsorção de Cu(II) sendo que em pH básico a porcentagem de remoção de Cu(II) aumenta, e em pH = 8 se obtém o maior percentual de remoção de Cu(II), corresponde a aproximadamente 28 %. Apesar de perceber esse maior percentual de remoção em pH alto, em pH = 9 observou-se uma redução na porcentagem de remoção, pois neste pH ocorre a precipitação do cobre na forma na forma de $\text{Cu}(\text{OH})_2$.³¹ As condições ácidas não são favoráveis porque a maioria dos grupos funcionais presentes no carvão está na forma protonada deixando

poucos grupos ionizados. A competição entre prótons (H^+) e Cu(II) poderia assim explicar a baixa adsorção em meio ácido.^{31,32}

3.3. Estudo do tempo e cinética de adsorção

A importância do tempo de agitação vem com a necessidade por identificação de possíveis processos mais rápidos de remoção de íons que testados por um novo adsorvente obtendo o tempo ótimo para completar a remoção do cátion escolhido.

A relação entre o tempo de adsorção e a porcentagem de remoção está demonstrada na Figura 3. A remoção de Cu(II) aumenta com tempo de adsorção até atingir o equilíbrio em 1 h, obtendo uma taxa de remoção de 21 % aproximadamente. A quantidade de remoção é proporcional ao tempo de agitação até o equilíbrio em 1 h, sendo que após esse tempo a taxa de remoção permaneceu sem alterações significativas.

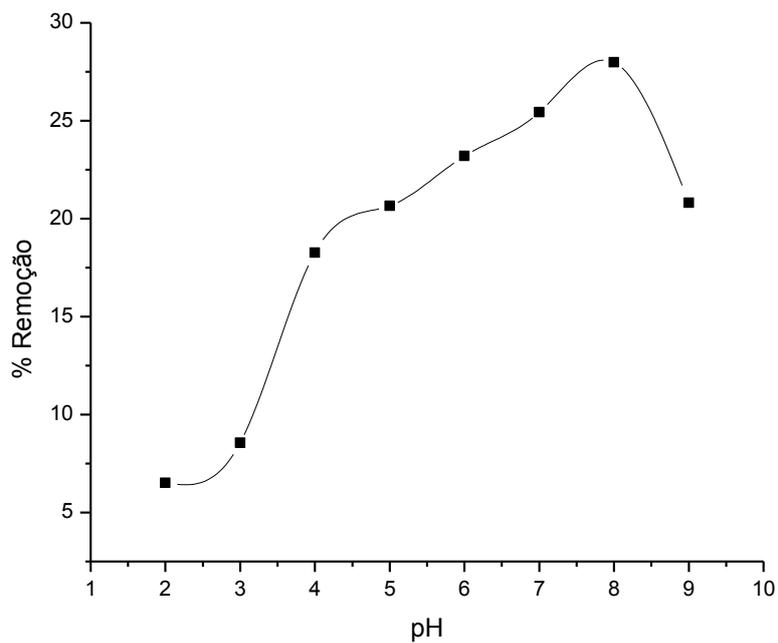


Figura 2. Influência do pH do meio e da taxa de remoção de cobre para 40 mL de solução de Cu(II) 50 mg L^{-1} , massa de 100 mg CAL e tempo de 1 h de agitação

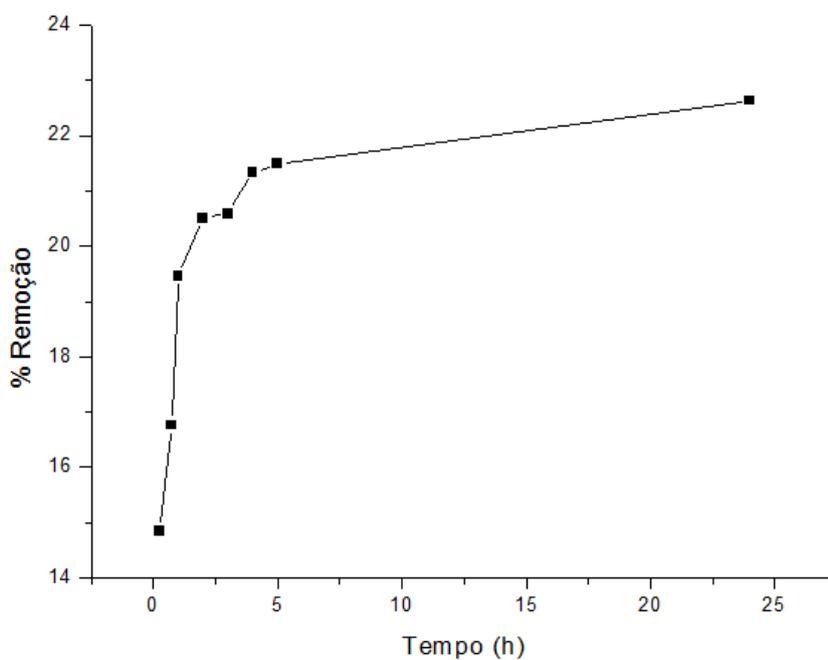


Figura 3. Estudo da influência do tempo de adsorção para 40 mL de solução de Cu(II) 50 mg L^{-1} , pH = 8, massa de 100 mg CAL

A figura 4 apresenta a aplicação dos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem, da forma como é

descrita pelas equações (4) e (7), respectivamente, aplicadas aos resultados do estudo do tempo de adsorção.

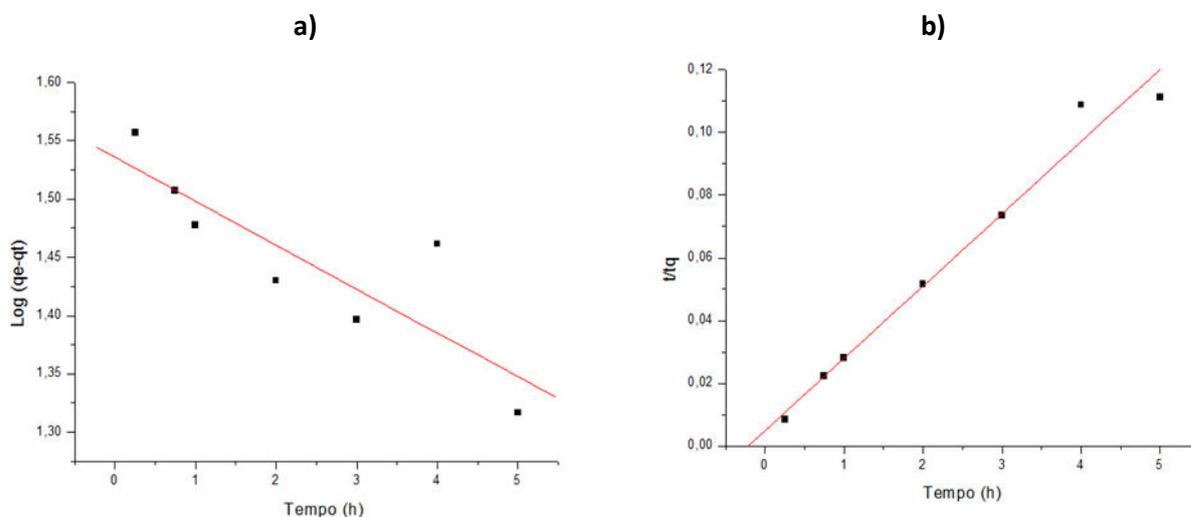


Figura 4. Gráficos obtidos pelos modelos cinéticos de: (a) pseudo-primeira ordem, e (b) pseudo-segunda ordem

Na Tabela 1 encontram-se os resultados obtidos a partir da linearização dos modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem e estes mostram que os valores encontrados experimentalmente se adequam melhor ao modelo de pseudo-segunda

ordem, como está representado pelo coeficiente de correlação $R^2 = 0,981$ e pela capacidade máxima de adsorção de $q_e = 6,13 \text{ mg g}^{-1}$. O adsorvente proposto apresentou uma boa capacidade de adsorção.

Tabela 1. Parâmetros e coeficiente de correlação obtidos dos modelos cinéticos

Pseudo-primeira ordem			Pseudo-segunda ordem		
q_e (mg g^{-1})	K_1 (min^{-1})	R^2	q_e (mg g^{-1})	K_2 (min^{-1})	R^2
7,26	0,005	0,893	6,13	0,0326	0,981

3.4. Estudo da concentração inicial de Cu(II) e isothermas de adsorção

O estudo da concentração inicial de Cu(II) realizou-se mantendo fixa a massa de CAL em 0,1 g, variando a concentração inicial de Cu(II) 20 a 80 mg L^{-1} , pH 8, temperatura $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ e tempo de adsorção de 1h. A relação entre a concentração inicial e a percentagem de remoção está demonstrada na figura 5. O

estudo mostrou que para massa de CAL 0,1 g a taxa de remoção de cobre tornou-se constante a partir de 60 mg L^{-1} de Cu(II) e equivale a 27 %. Com esse resultado fica bem claro que o tempo de agitação necessário para captação máxima dos íons do metal pelo CAL é dependente da concentração inicial do íon do metal. Esse dado é importante por causa do tempo de equilíbrio que é um dos parâmetros para a aplicação em planta de tratamento econômico de águas residuais.

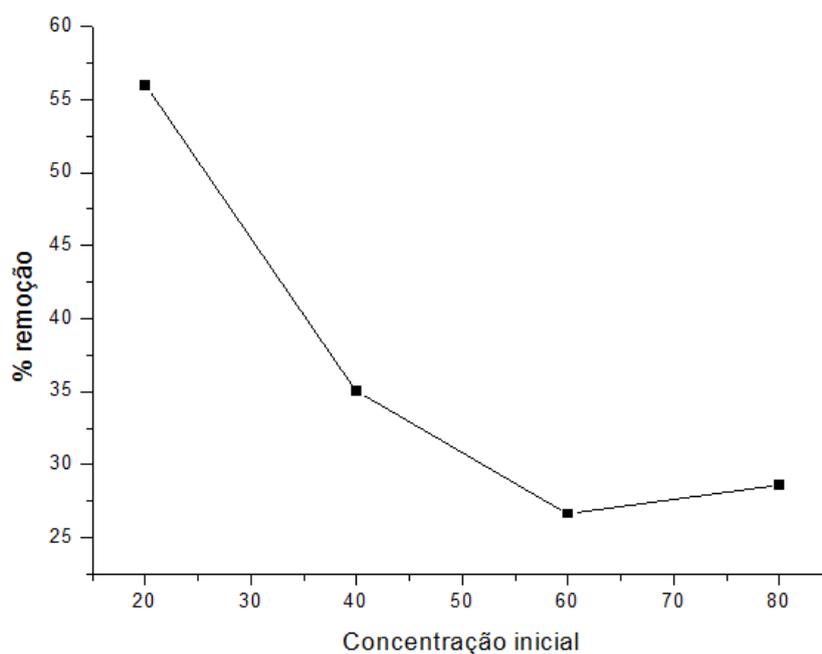


Figura 5. Estudo da concentração de Cu(II) para 40 mL de solução, 100 mg do adsorvente, tempo de adsorção de 1 hora e pH = 8

Para o estudo da isoterma foi considerado a relação entre a quantidade de substância adsorvida por unidade de massa do adsorvente em temperatura constante e a essa concentração na solução de equilíbrio é chamada de Isoterma.²⁹

A Figura 6 representa os modelos de adsorção de Langmuir e Freundlich, aplicados aos resultados do estudo da concentração.

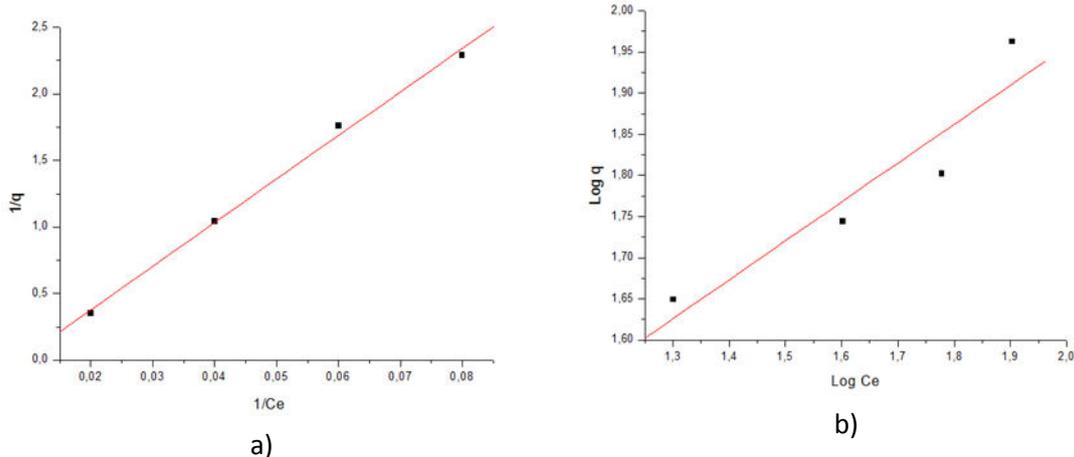


Figura 6. Gráfico obtido aplicando os modelos de isoterma de: (a) Langmuir, e (b) Freundlich

A construção da isoterma de adsorção de cobre em CAL foi realizada utilizando as condições: tempo de agitação 1 h, pH = 8, massa de CAL 0,1 g, concentração inicial de Cu(II) 20 - 80 mg L⁻¹ e temperatura 25 ± 1 °C. Os parâmetros para os modelos de isotermas de Freundlich e Langmuir estão demonstrado na tabela 2. Os valores dos coeficientes de correlação (R²) para os modelos de Freundlich e Langmuir foram altos e corresponde a 0,943 e 0,996

respectivamente, mostrando que a adsorção de Cu(II) no adsorvente melhor se adéqua ao modelo de Langmuir. Considerando o postulado desse modelo, pode ser inferido que a adsorção de íons Cu(II) no CAL acontece em uma única camada em vez de múltiplas camadas, diferente da isoterma de Freundlich, e cada sítio ativo pode acomodar uma espécie a ser adsorvida em superfície homogênea.³¹

Tabela 2. Constantes obtidas das isotermas de adsorção para o cobre em 25 ± 1 °C, pH 8,0 e 0,1 g de CAL

Modelo de Langmuir			Modelo de Freundlich		
Q _m	K _L	R ²	K _F	n	R ²
5x10 ⁻⁵	0,25	0,996	1,0	1,7	0,943

Utilizando 40 mL de solução aquosa com concentração inicial de Cu(II) 50 mg L⁻¹ em pH = 8, tempo de agitação de 1 h, temperatura 25 ± 1 °C e variando a massa do adsorvente, é possível atingir percentuais de remoção na faixa de 65 % com uma massa de 1 g,

conforme apresentado na figura 7. Esses resultados demonstram que a remoção do Cu(II) pelo CAL é dependente do pH, do tempo de contato entre as fases, da concentração dos íons, e da massa do adsorventes.

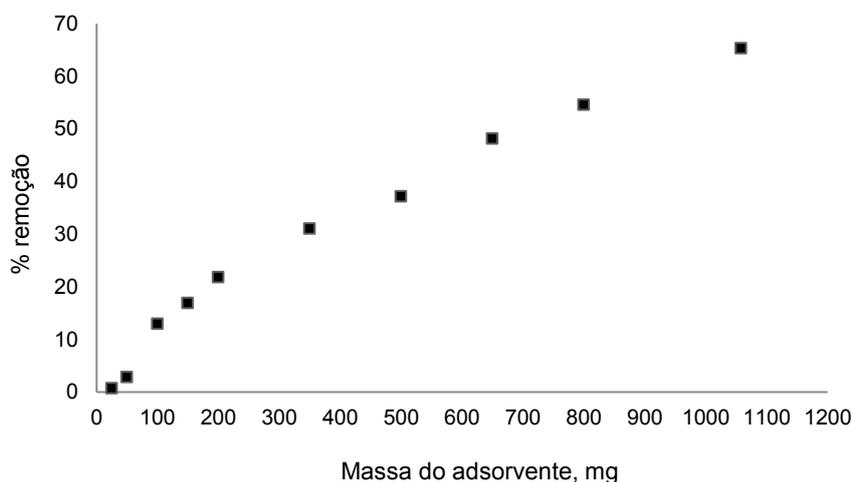


Figura 7. Estudo da influência da massa do CAL em função do percentual de remoção, para 40 mL de solução de Cu(II) 50 mg L⁻¹ em pH = 8 e num tempo de adsorção de 1 h

4. Conclusões

O estudo mostrou a utilização do CAL como adsorvente para remoção de Cu(II) do meio aquoso. A adsorção foi fortemente dependente do pH, concentração inicial de Cu(II) e tempo de adsorção. O uso do FT-IR para a caracterização do CAL elucidou os grupos funcionais presentes na superfície indicando assim as principais interações formadas entre metal-adsorvente.

Foi observada uma remoção de 55 % na concentração de 20 mg L⁻¹ de Cu(II) e utilizando 100 mg do CAL, podendo atingir 65 % de remoção na concentração de 50 mg L⁻¹ de Cu(II) e utilizando 1000 mg do CAL. As condições experimentais otimizadas foram: pH = 8, temperatura 25 ± 1°C, tempo de adsorção 60 minutos, e concentração inicial do metal 50 mg L⁻¹. Nessas condições a capacidade de adsorção foi de 0,26 mg de íons de Cu(II) para cada 1 g do CAL, representando uma redução de 15 %, podendo chegar a uma capacidade máxima de adsorção de $q_e = 6,13 \text{ mg g}^{-1}$. Foi observada uma melhor adequação para o modelo cinético de pseudo 2ª ordem e para a isoterma de adsorção foram melhores correlacionados com o modelo de Langmuir. Foi observada uma satisfatória eficiência de remoção de íons Cu(II) de meio aquoso, por meio da adsorção em carvão produzido a partir da casca de licuri, que é um resíduo agrícola abundante e de baixo custo, sendo uma alternativa viável para remoção de íons Cu(II) e até de outros íons metálicos.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de iniciação científica, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Pró-Reitoria de Pesquisa

e Pós-Graduação da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), pelo suporte financeiro.

Referências Bibliográficas

- ¹ Kurniawan, T. A.; Chan, G. Y. S.; Lo, W. H.; Babel, S. Comparisons of low-cost adsorbents for treating wastewaters laden with heavy metals. *Science of The Total Environment* **2006**, *366*, 409. [CrossRef] [PubMed]
- ² Kadirvelu, K.; Kavipriya, M.; Karthika, C.; Radhika, M.; Vennilamani, N.; Pattabhi, S. Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for the removal of dyes and metal ions from aqueous solutions. *Bioresource Technology* **2003**, *87*, 129. [CrossRef] [PubMed]
- ³ Periasamy, K.; Namasivayam, C. Removal of copper(II) by adsorption onto peanut hull carbon from water and copper plating industry wastewater. *Chemosphere* **1996**, *32*, 769. [CrossRef]
- ⁴ Kadirvelu, K.; Thamaraiselvi, K.; Namasivayam, C. Adsorption of nickel (II) from aqueous solution onto activated carbon prepared from coir pith. *Separation and Purification Technology* **2001**, *24*, 497. [CrossRef]
- ⁵ Özer, A.; Özer, D.; Özer, A. The adsorption of copper(II) ions on to dehydrated wheat bran (DWB): Determination of the equilibrium and thermodynamic parameters. *Process Biochemistry* **2004**, *39*, 2183. [CrossRef]
- ⁶ Kumar, U.; Bandyopadhyay, M. Sorption of cadmium from aqueous solution using pretreated rice husk. *Bioresource Technology* **2006**, *97*, 104. [CrossRef] [PubMed]
- ⁷ Column, F. Adsorção de azul de metileno em casca de batata utilizando sistemas em batelada e coluna de leito fixo. *Revista Virtual de Química* **2015**, *7*, 1909. [CrossRef]
- ⁸ De Sales, P. F.; Bertoli, A. C.; Pinto, F. M.; Magriotis, Z. M. Produção, caracterização e aplicação do carvão ativado obtido a partir do sabugo de milho: a busca pelo reaproveitamento de um resíduo agroindustrial. *Revista Virtual de Química*

- 2015**, 7, 1174. [[CrossRef](#)]
- ⁹ Gonsalves, A. A.; Leite Filho, C. A.; Medeiros, F. S.; Araújo, C. R. M. Tamarindus shell: characterization and adsorption studies of methylene blue and chromium(VI) using finite batch technique. *Revista Virtual Química* **2014**, 6, 1466. [[CrossRef](#)]
- ¹⁰ Chagas, N. V.; Meira, J. S.; Anaissi, F. J.; Melquiades, F. L.; Quináia, S. P.; Felsner, M. L.; Justi, K. C. Preparation, characterization of bentonite clay/activated charcoal composites and 2³ factorial design application in adsorption studies of methylene blue dye. *Revista Virtual de Química* **2014**, 6, 1607. [[CrossRef](#)]
- ¹¹ Wan Ngah, W. S.; Hanafiah, M. a K. M. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review. *Bioresource Technology* **2008**, 99, 3935. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹² Suzuki, R. M.; Andrade, A. D.; Sousa, J. C.; Rollemberg, M. C. Preparation and characterization of activated carbon from rice bran. *Bioresource Technology* **2007**, 98, 1985. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹³ Brum, S. S.; Bianchi, M. L.; Silva, V. L.; Gonçalves, M.; Guerreiro, M. C.; Oliveira, L. C. A. Preparation and characterization of activated carbon produced from coffee waste. *Química Nova* **2008**, 31, 1048. [[CrossRef](#)]
- ¹⁴ Lillo-Ródenas, M. A.; Marco-Lozar, J. P.; Cazorla-Amorós, D.; Linares-Solano, A. Activated carbons prepared by pyrolysis of mixtures of carbon precursor/alkaline hydroxide. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* **2007**, 80, 166. [[CrossRef](#)]
- ¹⁵ Lussier, M. G.; Shull, J. C.; Miller, D. J. Activated carbon from cherry stones. *Carbon* **1994**, 32, 1493. [[CrossRef](#)]
- ¹⁶ Yilmaz, O.; Cem Kantarli, I.; Yuksel, M.; Saglam, M.; Yanik, J. Conversion of leather wastes to useful products. *Resources, Conservation and Recycling* **2007**, 49, 436. [[CrossRef](#)]
- ¹⁷ Reinoso, R. F.; Marsh, H. *Activated carbon*, 1^a Ed. Elsevier: London, 1984.
- ¹⁸ Basu, O. D.; Dhawan, S.; Black, K. Applications of biofiltration in drinking water treatment - a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* **2016**, 91, 585. [[CrossRef](#)]
- ¹⁹ Abbas, A.; Al-Amer, A. M.; Laoui, T.; Almarri, M.; Nasser, M.; Khraisheh, M.; Atieh, M. A. Heavy metal removal from aqueous solution by advanced carbon nanotubes: critical review of adsorption applications. *Separation and Purification Technology* **2015**, 157, 141. [[CrossRef](#)]
- ²⁰ Fu, F.; Wang, Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management* **2011**, 92, 407. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²¹ Abbaszadeh, S.; Wan Alwi, S. R.; Webb, C.; Ghasemi, N.; Muhamad, I. I. Treatment of lead-contaminated water using activated carbon adsorbent from locally available papaya peel biowaste. *Journal of Cleaner Production* **2016**, 118, 210. [[CrossRef](#)]
- ²² Njoku, V. O.; Islam, M. A.; Asif, M.; Hameed, B. H. Adsorption of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid by mesoporous activated carbon prepared from H₃PO₄-activated langsung empty fruit bunch. *Journal of Environmental Management* **2015**, 154, 138. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²³ Gupta, V. K.; Tyagi, I.; Agarwal, S.; Singh, R.; Chaudhary, M.; Harit, A.; Kushwaha, S. Column operation studies for the removal of dyes and phenols using a low cost adsorbent. *Global Journal of Environmental Science and Management* **2016**, 2, 1. [[CrossRef](#)]
- ²⁴ Santos, J. A. R. Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 2011. [[Link](#)]
- ²⁵ Yang, X.; Al-Duri, B. Kinetic modeling of liquid-phase adsorption of reactive dyes on activated carbon. *Journal of Colloid and Interface Science* **2005**, 287, 25. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²⁶ Muthukumaram, K. *Studies on chemically activated carbon for the removal of trace inorganics from water*, Indian Institute of Technology, 1995.
- ²⁷ Zhang, J.; Huang, Z.; Lv, R.; Yang, Q.; Kang, F. Effect of growing CNTs onto bamboo charcoals on adsorption of copper ions in aqueous solution effect of growing CNTs onto bamboo charcoals on adsorption of copper ions in aqueous solution. *Carbon* **2009**, 2850. [[CrossRef](#)]
- ²⁸ Mandhavarao, M.; Ramesh, A.; Rao, G. P.

C.; Sessaiah, K. Removal of copper and cadmium from the aqueous solutions by activated carbon derived from Ceiba pentandra hulls. *Journal of Hazardous Materials* **2006**, *129*, 123. [[CrossRef](#)]

²⁹ Cheremisinoff, P. N.; Ellerbusch, F. *Carbon adsorption handbook*. Ann Arbor Science, 1978.

³⁰ Pavia, D. L.; Lampman, G. M.; Kriz, G. S.; Vyvyan, J. R. *Introdução à espectroscopia*, 4^a Edição Cengage Learning, 2010.

³¹ Bilal, M.; Shah, J. A.; Ashfaq, T.; Gardazi, S. M. H.; Tahir, A. A.; Pervez, A.; Haroon, H.; Mahmood, Q. Waste biomass adsorbents for copper removal from industrial wastewater-A review. *Journal of Hazardous Materials* **2013**, *263*, 322. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

³² Weng, C.; Lin, Y.; Hong, D.; Sharma, Y.C.; Chen, S.; Tripathi, K. Effective removal of copper ions from aqueous solution using base treated black tea waste. *Ecological Engineering* **2014**, *67*, 127. [[CrossRef](#)]