



II CONPESQ
**Congresso de Pesquisa,
Pós-Graduação e Inovação**

Os novos rumos da ciência pós-pandemia

12 a 16 de abril de 2021 Universidade Federal do Cariri - UFCA

**ADSORÇÃO DE METAIS TÓXICOS EM SOLUÇÕES
AQUOSAS UTILIZANDO A AMÊNDOA TRITURADA
DO PEQUI, *CARYOCAR CORIACEUM WITTM***

Karla Millena Oliveira de Sousa¹

Bolsista Cnpq
Centro de Ciência e Tecnologia
Universidade Federal do Cariri
karla.oliveira@aluno.ufca.edu.br

Matheus Pereira Guimarães²

Bolsista UFCA
Centro de Ciência e Tecnologia
Universidade Federal do Cariri
math.guimaraes@hotmail.com

Jorge Marcell Coelho Menezes³

Técnico da Central Analítica
Centro de Ciência e Tecnologia
Universidade Federal do Cariri
jorge.menezes@ufca.edu.br

Raimundo Nonato Pereira Teixeira⁴

Professor
Departamento de Química Biológica
Universidade Regional do Cariri
raimundo.teixeira@urca.br

João Hermínio da Silva⁵

Professor
Centro de Ciência e Tecnologia
Universidade Federal do Cariri
herminio.silva@ufca.edu.br

-
- 1 Será preenchido pela Comissão após avaliação com as informações dos metadados da submissão.
2 Será preenchido pela Comissão após avaliação com as informações dos metadados da submissão.
3 Será preenchido pela Comissão após avaliação com as informações dos metadados da submissão.
4 Será preenchido pela Comissão após avaliação com as informações dos metadados da submissão.
5 Será preenchido pela Comissão após avaliação com as informações dos metadados da submissão.

RESUMO

Atualmente, o aumento das indústrias no setor da galvanoplastia está contribuindo diretamente na poluição de rios que se encontram próximo a esses locais. O despejo inadequado dos efluentes poluidores, é um resultado de uma falta de responsabilidade ambiental, além de observamos que o tratamento que a galvanoplastia usa antes de despejar nos rios, ainda é insuficiente para evitar a poluição. Com isso, o trabalho desenvolvido consiste em analisar adsorção de metais pesados utilizando a amêndoa triturada do *Caryocar Coriaceum Wittm*, conhecido como pequi, sendo uma forma mais sustentável e eficaz para o tratamento dos efluentes poluidores. Para o estudo, foram preparadas amostras de efluentes sintéticos para medir a capacidade de adsorção do material. Os metais estudados foram o cobre (Cu) e o chumbo (Pb), que foram preparados em soluções tampões, agitados em intervalos de tempo pré-determinados, e analisados via espectroscopia de absorção atômica na Central Analítica da Universidade Federal do Cariri- UFCA e analisou-se a caracterização do material antes e depois do contato com os metais com análises de espectrometria de infravermelho no Laboratório de Física da Universidade Federal do Ceará- UFC. Os resultados encontrados foram positivos quanto a capacidade do pequi em adsorver os metais em questão, com base nos cálculos da cinética que determinou o tempo de equilíbrio e sua capacidade de adsorção dentro desse intervalo. E nos resultados do infravermelho, contou-se a adsorção do metal no adsorvente estudado.

PALAVRAS-CHAVE Galvanoplastia 1; Adsorção 2; Metais 3.

ABSTRACT

Currently, the increase in industries in the electroplating sector is directly contributing to the source of rivers that are close to these locations. The inadequate discharge of polluting effluents is a result of a lack of environmental responsibility, in addition to observing that the treatment that electroplating uses before dumping into rivers is still insufficient to avoid pollution. With this, the work developed consists of analyzing adsorption of heavy metals using the crushed almond of *Caryocar Coriaceum Wittm*, known as pequi, being a more sustainable and effective way to treat polluting effluents. For the study, samples of synthetic effluents were prepared to measure the adsorption capacity of the material. The studied metals were copper (Cu) and lead (Pb), which were prepared in solutions, stirred at predetermined time intervals, and analyzed by atomic absorption spectroscopy at the Analytical Central of the Federal University of Cariri - UFCA and analyzed the characterization of the material before and after contact with metals with infrared spectrometry analysis at the Physics Laboratory of the Federal University of Ceará - UFC. The results found were positive regarding the pequi's ability to adsorb the metals in question, based on the kinetics calculations that determined the equilibrium time and its adsorption capacity within this interval. And the infrared results showed the material's characterization.

Keywords: Electroplating 1; Adsorption 2; Metals 3.

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, a quantidade de indústrias continua a crescer desenfreadamente e com muitas delas a poluição e a contaminação das mais diversas áreas do meio ambiente.

A alta quantidade de resíduos gerados pela manufatura industrial nos mais variados ramos, tem sido um conjunto de problemas ambientais a ser solucionado.

Boa parte da contaminação causada pelas indústrias é a poluição hídricas, que pode ser definida como alguma transformação física, química ou biológica da qualidade de um corpo hídrico, capaz de exceder os padrões constituídos para a categoria, condizentes o seu uso preponderante.

De acordo com norma brasileira da ABNT – NBR 9800/1987, efluentes industriais são:

“Despejos líquidos provenientes das áreas de processamento industrial, incluindo os originados nos processos de produção, as águas de lavagem de operação de limpeza e outras fontes, que comprovadamente apresentem poluição por produtos utilizados ou produzidos no estabelecimento industrial”. (ABNT – NBR 9800/1987

Metais pesados em excesso podem causar muitas doenças e sérios problemas fisiológicos e ambientais.

“Alguns metais pesados são substâncias altamente tóxicas e não são compatíveis com a maioria dos tratamentos biológicos de efluentes existentes. Dessa forma, efluentes contendo esses metais não devem ser descartados na rede pública, para tratamento em conjunto com o esgoto doméstico. As principais fontes de poluição por metais pesados são provenientes dos efluentes industriais, de mineração e das lavouras”. (MARQUES, 2001, p.1).

Na região do Cariri, Juazeiro do Norte é cidade destaque no setor, e reúne um denso polo industrial que impacta justamente na qualidade dos recursos naturais encontradas na região. No campo de componentes brutos perduram sistemas que contaminam os efluentes vizinhos se descartados de forma indevida. A confecção de joias é composta por um conjunto de processos industriais e de tratamentos da superfície empregando banhos de metais. Segundo dados da Secretaria do Desenvolvimento Regional e Local do Estado do Ceará sobre Arranjo Produtivo Local – APL em Juazeiro do Norte existem aproximadamente 100 indústrias de folheados e fabricantes de joias.

As joias folheadas são produzidas essencialmente por um processo eletroquímico conhecido como galvanoplastia, que consiste em reações de transferência de elétrons entre dois polos opostos em função da aplicação externa de uma corrente de baixa tensão (PASQUALINI, 2004).

A indústria da galvanoplastia se apresenta como uma fonte geradora de efluentes contendo metais pesados (cromo, cobre, zinco, níquel, cádmio, chumbo, etc.), uma vez que emprega em seus processos de eletrodeposição uma variedade de soluções metálicas e um volume considerável de águas de lavagem que, dependendo do porte da indústria, situa-se entre 250 e 2.000 L/h, havendo instalações em que esta quantidade ultrapassa os 10.000 L/h (DE LIMA VAZ et al , 2010, p. 45)

Com isso a investigação por opções tecnológicas capacitadas para o tratamento deste

tipo de rejeito faz-se essencial, uma vez que é necessário minimizar as consequências ambientais, sem gerar custos elevados para o seu processo.

Assim, apresentou-se fundamental a pesquisa por um adsorvente que fosse possível utilizá-lo para ajudar a combater contaminações. E para que essa produção se tornasse possível, foi utilizado o pequi, *Caryocar Coriaceum Wittm*, devido estar disponível em larga escala na região do Cariri além de ser considerado uma fruta de relevância comercial. No entanto, pesquisas referentes à sua caracterização física são escassas e quase continuamente são reportadas sobre estudos do valor nutricional que este fruto apresenta.

Esta pesquisa visa explorar a aplicabilidade de uma tecnologia alternativa acessível para o tratamento de efluentes envolvendo metais pesados, fazendo-se emprego da técnica de adsorção e utilizando-se como matriz para adsorção, um composto baseado em carvão através da amêndoa do *Caryocar Coriaceum Wittm*, conhecido como pequi, fruta originada na zona da Chapada do Araripe região do Cariri.

2 PROCEDIMENTO METODOLOGICOS

Para execução do projeto utilizou-se efluentes sintéticos, produzidos no laboratório e o pequi. A metodologia será dividida em pontos para facilitar a compreensão do processo realizado.

2.1 COLETA DO ADSORVENTE

O material utilizado na pesquisa como adsorvente foi coletado no mercado da cidade do Juazeiro do Norte – Ceará. A análise consiste no uso da amêndoa do *Caryocar coriaceum Wittm*, conhecido popularmente como “pequi”.

2.2 PREPARAÇÃO DO ADSORVENTE

O pequi após ser coletado, foi separado a casca da amêndoa. Os caroços foram expostos ao sol para o processo de secagem natural por aproximadamente cinco dias. Posteriormente, foram fragmentados em pequenos pedaços e triturados em forrageira.

Em seguida, a amêndoa triturada foi separada granulometricamente por peneiras. Após esse processo foi colocada em temperatura ambiente aproximadamente 20 graus por 24 horas.

A modificação do adsorvente consistiu em dois tratamentos, um ácido e um básico, para se verificar em qual tratamento obtém-se melhor eficiência de adsorção.

Para os tratamentos, a amostra de adsorvente foi condicionada em soluções de ácido cítrico, para o tratamento ácido, e hidróxido de sódio, para o alcalino, de acordo com o

método modificado de (MARSHALL et al., 1999) em quantidades pré-definidas, sendo homogeneizado continuamente por 1 h a 70°C. Em seguida, o material foi filtrado e lavado com água destilada até a completa remoção dos reagentes em excesso, sendo secado em estufa a 60°C por 24 h.

2.3 PREPARAÇÃO DO EFLUENTE CINÉTICO

Uma amostra sintética representando efluente industrial foi confeccionada. Consistindo em uma massa de sulfato de cobre que foi pesada e separada em um recipiente de vidro. Na sequência, foi pesado uma massa de acetato de sódio e o ácido acético. Com isso, dissolveu-se o acetato de sódio com água destilada, em seguida misturou-se a solução do acetato de sódio com o ácido e o metal. Assim, a solução tampão de pH 5,5 que simulou o efluente que contém o cobre foi feita. Para simular o efluente com o chumbo, substituiu-se o sulfato de cobre por nitrato de chumbo com uma massa.

Com a solução tampão de pH 5,5, preparou-se cerca de 24 béqueres com 50 mg do pequi triturado em cada frasco. Foi adicionado em cada frasco cerca de 10 mililitros da solução tampão. Após, foi colocado na mesa rotatória com uma rotação de 150 rpm, cada frasco ficou um tempo pré-determinado. Depois do intervalo de tempo de 1 a 240 minutos, as amostras foram filtradas em papel de filtro, e analisadas por Espectroscopia de Absorção Atômica de Chamas, realizado no laboratório da Central Analítica da Universidade Federal do Cariri (UFCA).

2.4 CARACTERIZAÇÃO DO ADSORVENTE

2.4.1 Espectroscopia no Infravermelho (IV)

A análise de espectroscopia no infravermelho foi realizada no Laboratório de Espectroscopia Vibracional do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC). A caracterização foi utilizada para determinar informações específicas sobre o material estudado. A espectroscopia informa as condições estruturais e composicionais do material. Com isso, o material estudado, adsorvente “pequi”, foi analisado no laboratório em sua forma natural antes da análise como adsorvente, e depois da análise como adsorvente.

2.5 ESTUDO DO EQUILÍBRIO E DA CINÉTICA DE ADSORÇÃO

Para o estudo do equilíbrio, com a solução tampão de pH 5,5, preparou-se cerca de 24 béqueres com 50 mg do pequi triturado em cada frasco. Foi adicionado em cada frasco cerca de 10 mililitros da solução tampão. Foi utilizada uma mesa agitadora orbital com velocidade constante de 150 rpm (rotações por minuto). A agitação de cada solução foi programada em diferentes tempos para a análise, de acordo com os tempos estudados de 1 a

240 minutos. Em seguida, foi feita a filtração de cada solução por meio de um filtro de papel, para separar o adsorvente da solução. Após a filtração, foi feita a leitura da medida da concentração de metal residual via espectrometria de absorção atômica, na Central Analítica da Universidade Federal do Cariri - UFCA.

Para a determinação da concentração de metal adsorvido, foi utilizada a equação (1)

$$Q = \frac{(C_{eq} - C_o) \cdot V}{m} \quad (1)$$

Onde:

C_o = Concentração inicial do metal na alíquota;

C_{eq} = Concentração final do metal na alíquota;

V = Volume da solução;

m = massa do adsorvente.

Em direção ao estudo cinético, amostras do banho de equilíbrio foram coletadas e analisadas em ciclos de tempo pré-determinado no equipamento de espectroscopia de absorção. A capacidade de adsorção Q_t (mg.g⁻¹) para um determinado tempo (min) foi calculado empregando a equação (2).

$$Q_t = \frac{C_{eq} - C_t}{m} \quad (2)$$

Onde:

C_t = Concentração do metal, em mg. L⁻¹, no sobrenadante num determinado tempo t em min.

2.6 MODELOS CINÉTICOS LINEARES

Com os resultados obtidos será possível analisar quatro modelos cinéticos, utilizando o livro Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais, e obter resultados.

2.6.1 Modelo pseudo-primeira ordem

O modelo de pseudoprimeira ordem, conhecido também por Modelo de Lagergren, é um mecanismo simples e um dos mais utilizados nas análises de cinética de adsorção. Utiliza-se a equação de Lagergren (3):

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (3)$$

Onde:

k_1 = constante da taxa de adsorção de pseudoprimeira ordem (min^{-1});
 $q_e - q_t$ = são as quantidades adsorvidas por grama de adsorvente no equilíbrio e no tempo t , respectivamente (mg.g^{-1}).

2.6.2 Modelo pseudo-segunda ordem

O modelo pseudosegunda ordem é um mecanismo utilizado nas análises de cinética de adsorção.

Ele pode ser expresso conforme a equação (4).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{q_e \cdot k_2} + \frac{t}{q_e} \quad (4)$$

Onde:

k_2 = constante da taxa de adsorção de pseudosegunda ordem ($\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$).

2.6.3 Equação de Elovich

Em princípio, a equação de Elovich (5) é indicada para o estudo cinético de adsorção química de um gás na superfície de um material sólido. Porém, a sua aplicação em diferentes adsorções no meio líquido tem resultado positivo.

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln (1 + \alpha\beta t) \quad (5)$$

Onde:

α = taxa de adsorção inicial ($\text{mg. g}^{-1}\text{min}^{-1}$);

β = constante de desorção (mg. g^{-1});

t = tempo;

q_t = quantidade de metal adsorvido por quantidade de biomassa (mg. g^{-1}) utilizada no tempo t .

3 REFERENCIAL TEÓRICO

- Meio Ambiente

Problemas de contaminação dos corpos hídricos têm estimulado muitos pesquisadores em todo mundo na busca de alternativas que resolvam ou minimizem os efeitos causados pelos descartes de materiais tóxicos ao meio ambiente. O que se deseja, preferencialmente, é que tais soluções sejam economicamente viáveis e eficientes. (TEIXEIRA, 2015)

Os efluentes gerados pelas indústrias de galvanoplastia possuem uma elevada concentração de íons metálicos, por isso devem ser tratados antes do descarte aos corpos receptores. Os processos que usam adsorção despontam como uma das linhas de pesquisas mais avaliadas por inúmeros pesquisadores no intuito de contribuir com esta problemática (TEIXEIRA, 2015).

- Efluentes galvânicos

Os processos de galvanização geram graves problemas de poluição nos ecossistemas aquáticos devido os seus despejos conterem metais pesados, que acima de determinadas concentrações podem ser tóxicos ao ambiente e ao ser humano. (DE LIMA VAZ et al,2010)

Nos processos galvânicos utilizam-se uma grande quantidade de água nos banhos químicos para folheamento. Muitos metais são dissolvidos nestes banhos formando um efluente rico em íons metálicos. O método mais utilizado para o tratamento de efluentes da indústria galvânica é o de precipitação química por agentes alcalinos (KURNIAWAN, 2006).

O tratamento de efluentes de galvanoplastia vem sendo estudado por alguns autores, os quais propõem diferentes processos para o tratamento de efluentes do processo de galvanização, como a precipitação química, processos de adsorção por materiais adsorventes não convencionais e adsorventes convencionais (DE LIMA VAZ et al, 2010).

- Equilíbrio de adsorção

O equilíbrio de adsorção é geralmente um requisito essencial para obtenção de informações relevantes sobre projeto e análise de um processo de separação por adsorção. Quando uma determinada quantidade de um sólido, este comumente chamado de adsorvente ou adsorbente, entra em contato com um dado volume de um líquido contendo um soluto absorvível, este chamado adsorvato ou adsorbato, a adsorção ocorre até que o equilíbrio seja alcançado. Isto é, quando o adsorvato é colocado em contato com o adsorvente, as moléculas

ou íons tendem a fluir do meio aquoso para a superfície do adsorvente até que a concentração de soluto na fase líquida (C_e) permaneça constante (MELO, p. 24).

- Cinética

Cinética de adsorção é expressa como a taxa de remoção do adsorvato na fase fluida em relação ao tempo, envolvendo a transferência de massa de um ou mais componentes contidos em uma massa líquida externa para o interior da partícula do adsorvente, os quais deverão migrar através dos macroporos até as regiões mais interiores desta partícula (NASCIMENTO, p. 51).

- Caracterização

A metodologia de caracterização da pesquisa fundamenta-se em realizar análises de uma amostra e determinar suas características físicas e químicas. A partir da execução da caracterização Infravermelho IR, em que interpreta os grupos funcionais baseado nas a frequência de ondas de cada compostos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

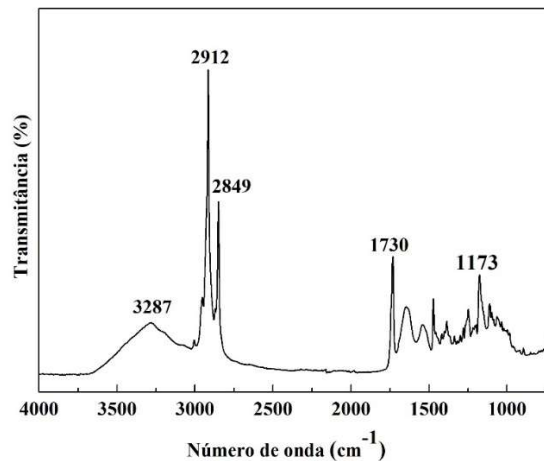
Os resultados obtidos a partir da análise de adsorção de Cu (cobre) e Pb (chumbo), serão apresentados a seguir conforme os tópicos abaixo. A leitura dos dados da Espectroscopia de IR foram baseados de acordo com a tabela de valores de adsorção no infravermelho para compostos orgânicos.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

4.1.1 Espectroscopia no Infravermelho (IV)

A caracterização pelo processo denominado espectroscopia de IV foi realizada para determinarmos os componentes químicos do pequi. Além disso, foi feita a análise com o material antes e depois de utilizado nas análises cinéticas e isotermas da pesquisa. A Figura 1, mostra os espectros do infravermelho para a amêndoa triturada do pequi antes das análises. A banda larga e forte em 3287 cm^{-1} se refere a presença de O-H (associada) e NH. Na segunda banda de 2912 cm^{-1} encontra-se o grupo funcional C-H de alifáticos, com carbonos primários e secundários. Na terceira banda de 2849 cm^{-1} , encontra-se na mesma situação do segundo pico. Na quarta banda de 1730 cm^{-1} encontra-se o grupo funcional C=O de aldeídos. Na quinta banda de 1173 cm^{-1} encontra-se o grupo funcional C-O de álcoois fenóis (PERIOTTO, 2012).

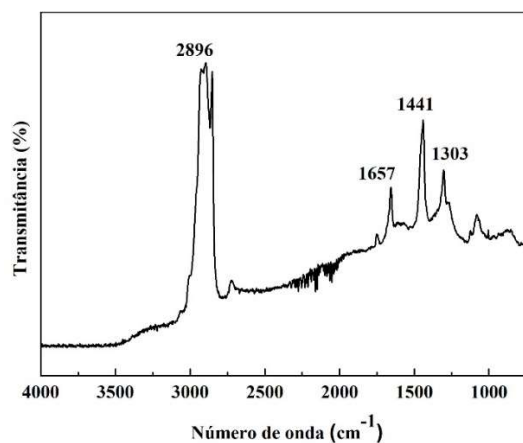
Figura 1 - Infravermelho Amêndoa do pequi puro.



Fonte: Autora (2020)

A Figura 2, mostra o espectro infravermelho da amêndoa do pequi triturada depois das análises. Ou seja, com o cobre em sua composição. A banda associada à 2896 cm^{-1} pode ser atribuída ao C-H (alifáticos) com a presença de carbono terciários e secundários (CH_3 e CH_2). A banda associada à 1657 cm^{-1} pode ser atribuída ao alongamento de $\text{C}=\text{C}$, uma ligação de intensidade usualmente de fraca a média, podendo ser facilmente quebrada e se ligando a outros elementos. A presença de $\text{C}=\text{O}$ de amidas, também está presente no segundo pico sendo amidas substituídas e que apresentam uma única banda. A banda de 1441 cm^{-1} , mostra o grupo funcional CH_2 . No quarto pico de 1303 cm^{-1} , apresenta grupo funcional de CN de aromáticos (PERIOTTO, 2012).

Figura 2 - Infravermelho pequi com o cobre (Cu).

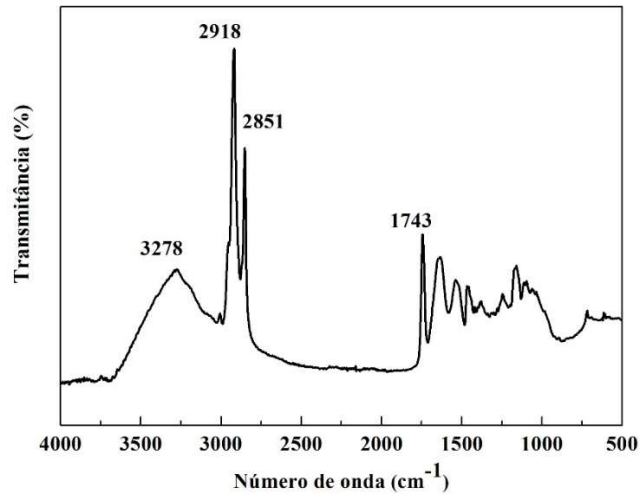


Fonte: Autora (2020)

A Figura 3, mostra o espectro de infravermelho do material estudado depois do contato com o metal chumbo (Pb). A banda referente à 3278 cm^{-1} , corresponde ao grupo funcional O-H (associado), de banda forte e N-H. A banda 2918 cm^{-1} corresponde a dois

grupos funcionais um de O-H (quelato) e outro de CH alifáticos (CH₂ e CH₃). Na terceira banda de 2851 cm⁻¹, encontra-se os mesmos grupos funcionais da segunda banda. Finalmente a banda 1743 cm⁻¹ encontra-se o grupo funcional C=O de ésteres (PERIOTTO, 2012).

Figura 3 - Infravermelho pequi com chumbo (Pb).



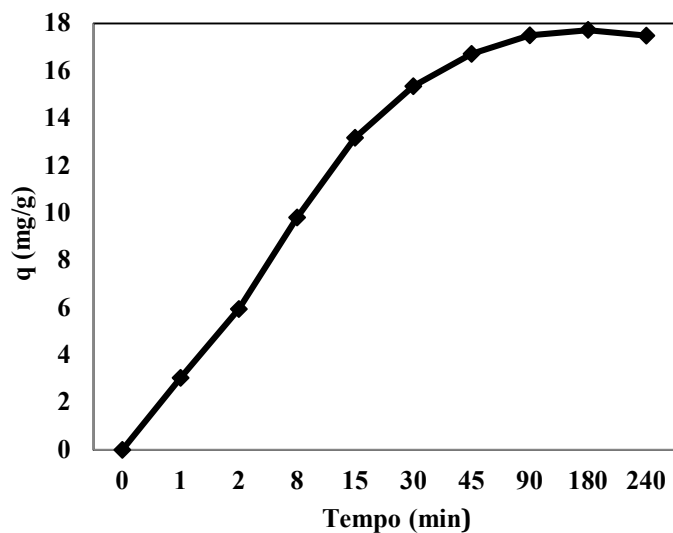
Fonte: Autora (2020)

4.2 CINÉTICA

4.2.1 Cobre

A solução analisada na pesquisa logo após ter sido filtrado pelo adsorvente, o pequi, foi feita as leituras das concentrações de metais pesados no aparelho de absorção atômica. Com os resultados obtidos, construí- se o gráfico a seguir:

Gráfico 1 - Equilíbrio cinético cobre (Cu).

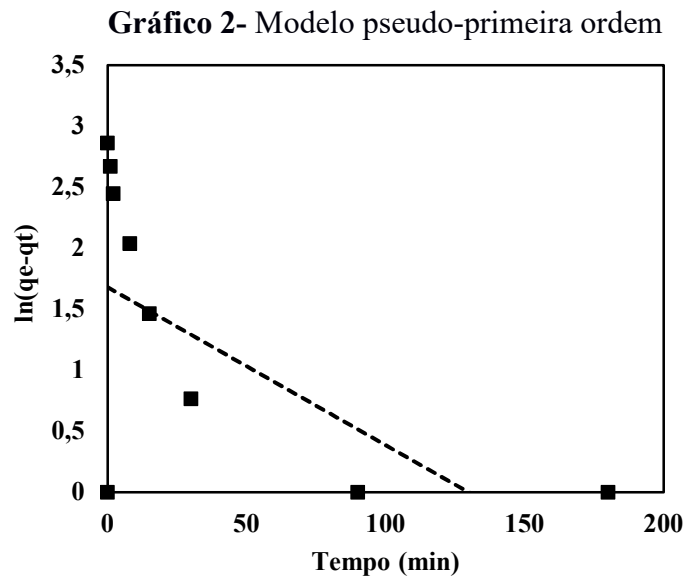


Fonte: Autora (2020)

O gráfico 1 mostra os resultados obtidos da solução com o cobre. Ele mostra o tempo de pico que o adsorvente adsorve o metal cobre. Quando atinge o tempo de 90 minutos, o gráfico entra em constância, e a adsorção fica constante e segue um padrão. Com isso, é possível analisar o tempo máximo que a amostra de 50 mg do adsorvente pequi é capaz de adsorver e a quantidade máxima. A concentração inicial foi de 114,86 mg/L, logo após o adsorvente entrar em constância foi lido uma concentração de 27,407 mg/g, em porcentagem foi aproximadamente 76% de metal adsorvido de acordo com a concentração inicial.

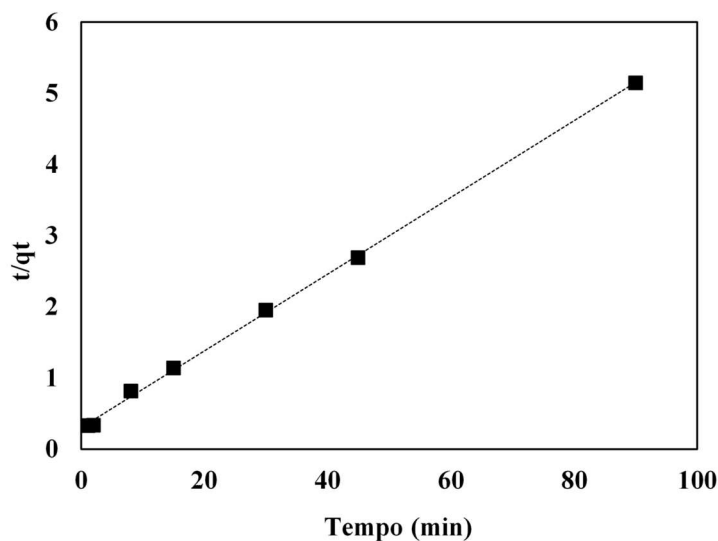
4.2.2 Modelos cinéticos lineares

Depois das análises feita no laboratório analisaram-se os dados e colocou-se em 3 modelos cinéticos apresentados nos gráficos 2, 3 e 4, abaixo.



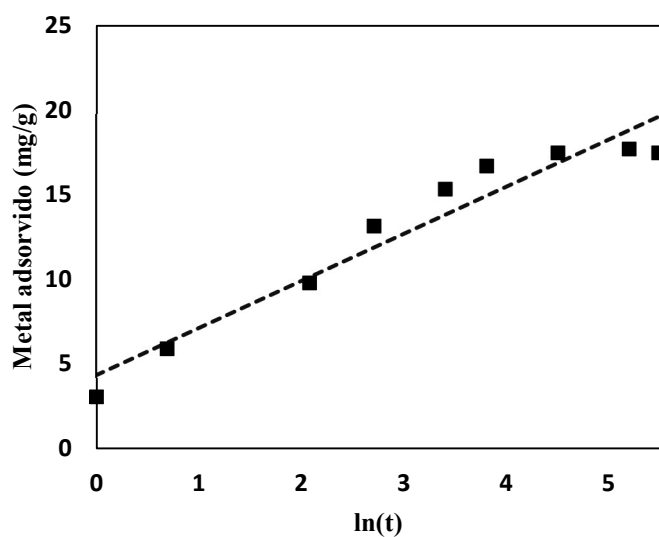
Fonte: Autora (2020)

Gráfico 3 - Modelo pseudo-segunda ordem



Fonte: Autora (2020)

Gráfico 4 - Modelo Elovich



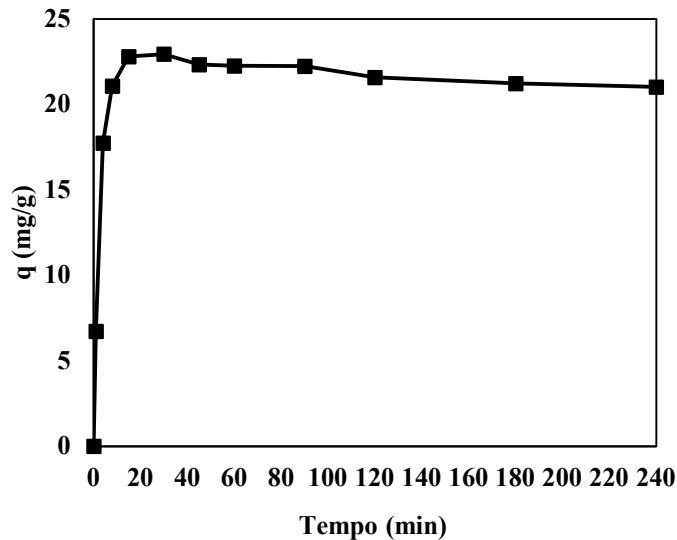
Fonte: Autora (2020)

Utilizamos cerca de 3 modelos cinéticos lineares para classificar o tipo de amostra que analisamos. O modelo pseudo-primeira ordem, onde os pontos que da análise ficaram fora da curva, o coeficiente de correlação R ficou em cerca de 0,68 (68%). O segundo modelo foi o de pseudo-segunda ordem em que o R foi igual a 1, isto significa uma correlação perfeita entre as variáveis. E o terceiro modelo Elovich o R foi de aproximadamente 0,94. Isso significa que o modelo experimental se encaixou perfeitamente no modelo teórico de Ho (pseudo-segunda ordem).

4.3 CHUMBO

A solução analisada na pesquisa logo após ter sido filtrado pelo adsorvente, o pequi, foi feita as leituras das concentrações de metais pesados no aparelho de absorção atômica. Com os resultados obtidos, construí-se o gráfico 5, a seguir:

Gráfico 5 - Cinética Chumbo



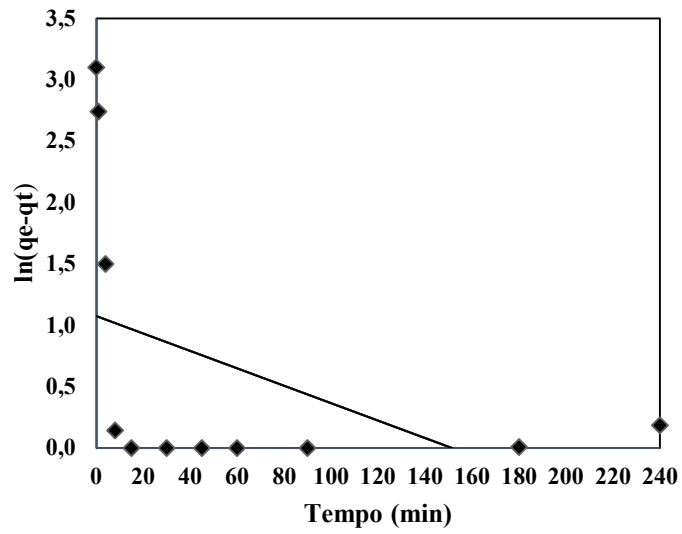
Fonte: Autora (2020)

No gráfico 5 da cinética do chumbo (Pb), percebe-se que a adsorção ficou em equilíbrio a partir do tempo de 30 minutos. Quando atinge esse tempo, a adsorção chegou ao máximo e começa a seguir uma constância. Com isso, é possível analisar o tempo máximo que a amostra de 50 mg do adsorvente pequi é capaz de adsorver e a quantidade máxima. A concentração inicial que é de 114,40 mg/L, logo após o adsorvente entrar em constância obteve-se uma concentração de 3,85 mg/g, em porcentagem foi aproximadamente 96,6% de metal adsorvido de acordo com a concentração inicial.

4.3.1 Modelos cinéticos lineares

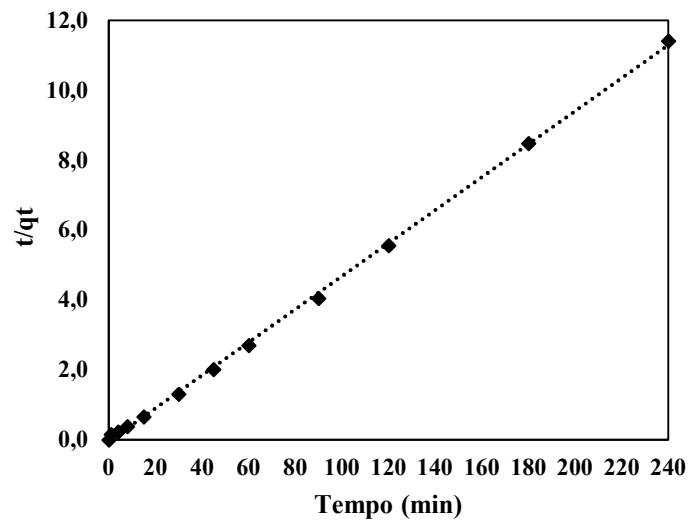
Depois das análises feita no laboratório analisou-se os dados e foi colocado em 3 modelos cinéticos apresentados nos gráficos 6, 7 e 8 abaixo.

Gráfico 6 - Modelo pseudo-primeira ordem



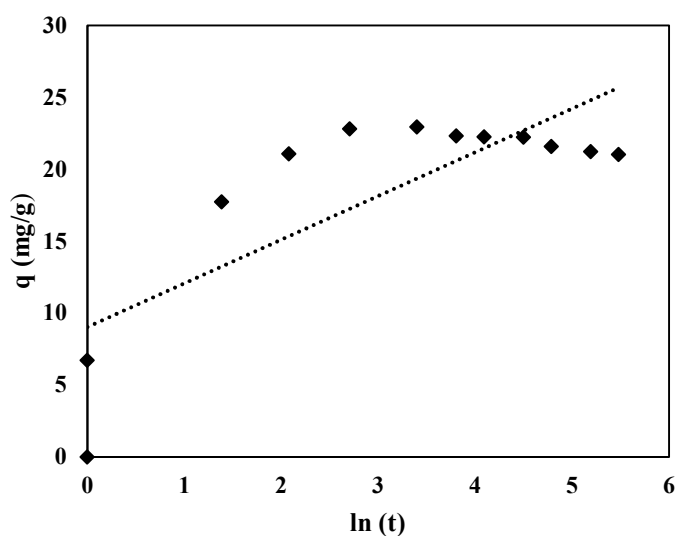
Fonte: Autora (2020)

Gráfico 7 - Modelo pseudo-segunda ordem



Fonte: Autora (2020)

Gráfico 8 – Modelo Elovich



Fonte: Autora (2020)

Utilizamos cerca de 3 modelos cinéticos lineares para classificar o tipo de amostra que analisamos. O modelo pseudoprimeira ordem, onde os pontos que da análise ficaram fora da curva, pois quanto mais perto de 1 o R estiver, mais adequado ao modelo está. O R do primeiro modelo resultou em cerca de 0,22. O segundo modelo foi o de pseudo-segunda ordem em que o R foi igual a 0,99. E o terceiro modelo Elovich em que o R foi de aproximadamente 0,62. Isso, significa que o modelo experimental que se encaixou perfeitamente no modelo teórico de Ho (pseudosegunda ordem).

4.4 DISCUSSÕES

Observando os resultados do infravermelho nas três etapas, pequi puro, pequi com cobre e o pequi com chumbo. Pode-se notar que houve alguns grupos funcionais desapareceram. Com isso, pode-se supor que as ligações em que o adsorvente faz com os metais pode estar relacionada ao grupo funcional que constituiu o pequi.

Com os resultados da análise do equilíbrio cinético com os dois metais tóxicos, pode-se afirmar que o metal que mais adsorveu com as mesmas condições em que se encontra o adsorvente foi o chumbo. O chumbo teve uma porcentagem de adsorção maior que a do cobre. Porém, os dois metais resultaram conclusões muito satisfatórias, suspeita-se que o adsorvente pequi é um ótimo biossorvente para os metais cobre e chumbo com base na solução do efluente sintético. Tanto o chumbo como o cobre se encaixaram no modelo de pseudo-segunda ordem. Entretanto, não se pode afirmar que seja uma característica somente do metal.

5 CONCLUSÕES

Concluimos que o material estudado, é um ótimo adsorvente para ser utilizado na adsorção de dois metais tóxicos (cobre e chumbo) separadamente, isso ficou evidente com os resultados obtidos nas análises cinéticas. Por ser um material de baixo custo apresentou resultados satisfatórios. O adsorvente além de servir como um biossorvente natural, ele pode ser reutilizado de outras formas. Com a conclusão desta etapa do projeto, é possível observar que o pequi possui uma grande capacidade para ser uma ferramenta contra a poluição ambiental que as indústrias galvanoplásticas provocam. Com isso, observamos várias aplicações em áreas que utilizam o cobre e o chumbo, e descartam de forma incorreta em efluentes próximos. O adsorvente estudado, pode ser uma nova estratégia de reter essa contaminação com metais pesados.

6 PERSPECTIVAS

Como perspectivas, um estudo para verificar se o material é um bom adsorvente para outros metais, tais como o níquel, zinco e cromo, por exemplo, pode ser realizado. Pretendo ainda, para um estudo mais detalhado do material, realizar medidas de análises térmicas, espectroscopia Raman e difração de raios-X com o material puro e associado à esses metais.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que ajudou com o fomento a bolsa, na modalidade PIBITI. Agradecer a Universidade Federal do Cariri (UFCA), instituição de origem. Ao meu orientador, pesquisador Dr. João Hermínio da Silva UFCA, pelo apoio e incentivo à pesquisa. Ao Ms. Jorge Marcell Coelho Menezes, técnico da Central Analítica da UFCA, por proporcionar a orientação das análises práticas da pesquisa. Agradecer a Central Analítica da UFCA, por disponibilizar os equipamentos e materiais para a pesquisa. Agradecer também ao pesquisador Dr. Raimundo Nonato Teixeira (URCA) pela sua ajuda nas discussões e sugestões presentes neste trabalho. E agradecer ainda, a todos os coautores que ajudaram e se dedicaram à essa pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 9800: **Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário** - Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

COELHO, Gustavo F.; *et al.* **Uso de técnicas de adsorção utilizando resíduos agroindustriais na remoção de contaminantes em águas**. Journal of Agronomic Sciences, Umuarama, v.3, n. especial, p.291-317, 2014. Disponível em: dca.uem.br/V3NE/21.pdf. Acesso em: 13 set. 2020.

COSTA, Celme Torres; SANTOS, Expedito Flávio; TAVARES, Paulo Roberto Lacerda; **Potencialidade da contaminação por metais pesados procedente da indústria galvânica no município de Juazeiro do Norte**. In XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas; **Anais[...]** Natal: 2008. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23808/15873>. Acesso em: 13 nov. 2020.

DE LIMA VAZ, Luiz Gustavo. *et a.* 2010. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia**. Eclat. Quím. vol.35 no.4 São Paulo, 2010. Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) - Centro de Engenharias e Ciências Exatas - Engenharia Química - Toledo – PR. Universidade Estadual de Maringá (UEM) - Departamento de Engenharia Química - Maringá – PR. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-46702010000400006>. Acesso em 01 jan. 2021.

ELSHERIF K. M., EWLAD-AHMED A. M., AND TREBAN A. **Removal of Fe (III), Cu (II), and Co (II) from Aqueous Solutions by Orange Peels Powder: Equilibrium Study**, **Biochem.** World Journal of Biochemistry and Molecular Biology 2017; 2(6): 46-51. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Khaled_Elsherif/publication/321874975_Removal_of_Fe_III_Cu_II_and_Co_II_from_Aqueous_Solutions_by_Orange_Peels_Powder_Equilibrium_Study/links/5bd2ef2892851c6b278fa9bd/Removal-of-Fe-III-Cu-II-and-Co-II-from-Aqueous-Solutions-by-Orange-Peels-Powder-Equilibrium-Study.pdf. Acesso em: 10 jan 2021.

KURNIAWAN, Tonni Agustiono *et al.* **Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals**. Chemical engineering journal, v. 118, p. 83-98, 2006. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894706000362?casa_token=qfuadbgA570AAAAA:8Wz0qHs2y-uEAF6Li0yavjOFFvWW-WLOu0FIjPi37C6Y-0cJnXJaWyAbytW5L2dhqsNa3FGOuApV. Acesso em 5 jan. 2021.

MARQUES, Monica R.P.A. & Cardoso, Amanda. N., **Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos**. Quím. Nova v.25 n.6b São Paulo nov./dez. 2002; Departamento de Química Orgânica, Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, R. São Francisco Xavier, 524, 20550-013 Rio de Janeiro – RJ, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000700015>. Acesso em 14 dez. 2020.

MARSHALL, W. E. *ET AL.* **Enhanced metal adsorption by soybean hulls modified with citric acid.** Bioresource technology volume 69, issue 3, september 1999, pages 263-268. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(98\)00185-0](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(98)00185-0). Acesso em 17 dez. 2020.

MELO, Q. Diego. *et al.* Equilíbrio de adsorção; In: NASCIMENTO, F. Ronaldo; **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais.** Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará (UFC)-2014; Pág 23-27. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/53271>. Acesso em: 4 dez. 2020.

MENEZES, Jorge Marcell Coelho. *et al.* **Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics of lead(II) Adsorption in biosorbent composed by *Caryocar Coriaceum* Wittm Barks.** CHEMOSPHERE. Volume 261, dezembro de 2020, 128-144. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128144>. Acesso em: 8 jan. 2021.

MOHAN, D. PITTMAN JR., C.U. **Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents – A critical review.** Journal of Hazardous Material, v. 142, n. 1-2, p. 1-53, ago. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.006>. Acesso em: 1 dez. 2020.

PASQUALINI, Andreia. **Minimização de efluentes:** estudo de caso aplicado a galvanoplastia. 2004. 125f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, 200. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/87396>.

RODRIGUES, G. Ariano; G. José Cláudio; **Espectroscopias de infravermelho, Raman e de fotoluminescência: potencialidades e complementaridades (Infrared, Raman and photoluminescence spectroscopies: potentialities and complementarities** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 34, n. 4, 4309 (2012); Departamento de Física, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v34n4/a09v34n4.pdf>. Acesso em 10 ago 2020.

SILVA, F. Jean. **Análise experimental e Simulação do processo de bioadsorção de metais pesados (Pb, Zn e Ni) através da alga marinha Sargassum sp.** Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/266143>. Acesso em: 13 nov. 2020.

PERIOTTO, Danilo. **Tabela de Valores de Absorção no Espectro de Infravermelho para Compostos Orgânicos – UFSCar 2012,** Disponível em: <https://pt.slideshare.net/periotto/tabela-de-valores-de-absoro-no-espectro-de-infravermelhopara-compostos-orgnicos>. Acesso em 8 dez. 2020.

TEIXEIRA, Raimundo Nonato Pereira; **Remoção de Cu (II), Ni (II), Cd (II) e Pb (II) de efluentes de indústrias de galvanoplastia usando o sistema híbrido adsorção-eletro-flotação-coagulação.** 2015. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/11567>. Acesso em: 10 nov 2020.

VIDAL, B. Carla; Cinética de adsorção; In: NASCIMENTO, F. Ronaldo; **ADSORÇÃO: aspectos teóricos e aplicações ambientais.** Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará (UFC)-2014; Pág 51-52 e 59-71.