

## MÉTODO ALTERNATIVO PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES CONTENDO COBRE (II) UTILIZANDO A CASCA DE COCO VERDE

Fernanda Palladino (Universidade Federal de Minas Gerais) – ferpalladino@terra.com.br  
Gabriela Gontijo Melo (Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais) - gabigtmeo@hotmail.com  
Rafaela Carolina da Silva (Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais) - rafaelacarolina6@hotmail.com  
Sarah Bosi de Oliveira (Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais) - sarahbosi@hotmail.com  
Thais Almeida Morais Simões (Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais) – almeidasimoes4@hotmail.com

### Resumo

Este artigo aborda a remoção de  $\text{Cu}^{+2}$  em solução aquosa utilizando o pó da casca de coco verde ativado com hidróxido de sódio. O coco verde é um material de difícil descarte no meio ambiente, demorando até 8 anos para sua decomposição, além de ser descartado em grande quantidade, pois segundo a Embrapa, 300 mL de água de coco geram 1,5 kg de casca, sendo assim, estudos são realizados para reaproveitar esse material. Diante disso foi realizada a caracterização da superfície da casca de coco através do MEV, Microscópio Eletrônico de Varredura e a composição química foi alcançada utilizando o Infravermelho ATR que gerou o espectro de transmissão ou absorção. Foi estudado o comportamento de adsorção do  $\text{Cu}^{+2}$  utilizando o modelo de Langmuir, sendo que este apresentou uma capacidade máxima de adsorção dos íons cobre (II) de 15,36 mg/g. As análises mostraram que em concentrações iniciais menores que 1 mg/L a adsorção foi eficaz, apresentando percentagens de remoção superiores a 90%. Os resultados apontaram que a casca de coco apresenta características apropriadas para o processo de bioadsorção do  $\text{Cu}^{+2}$ . Dessa forma, essa pode ser utilizada como uma alternativa aos processos convencionais para tratamento de efluentes contendo esse metal pesado, minimizando assim, os impactos ambientais causados tanto pelo  $\text{Cu}^{+2}$  quanto pelo coco verde ao meio ambiente.

**Palavras-Chaves:** (Casca de coco, Cobre II, Isotermas de adsorção)

### 1. Introdução

Meio ambiente é um assunto que vem conquistando cada vez mais espaço e prestígio no mundo moderno. É urgente perceber a ordem de grandeza em que se situa hoje a questão ambiental e, dar-se conta de como isso é grave para a sustentabilidade (TRIGUEIRO, 2003).

Os elementos mais presentes nos efluentes provenientes do setor de mineração são os chamados metais tóxicos, que possuem densidade maior que  $5 \text{ g/cm}^3$  e que estão localizados nas colunas centrais da Tabela Periódica, como por exemplo, o Cádmio, Cromo, Chumbo, Níquel, Zinco, Cobre, sendo esse último o de maior destaque nos resíduos industriais e de mineração, por isso este trabalho visou esse poluente (PINO, 2005).

O fenômeno da adsorção, capacidade dos sólidos de reterem moléculas de um componente de uma mistura, é um método de tratamento físico químico bastante atrativo para as indústrias. Pois, além de ser um processo eficaz, tem-se a recuperação dos metais adsorvidos, existindo a possibilidade da reutilização do adsorvente. Esse adsorvente pode ser, por exemplo, resíduos agroindustriais, como a casca de coco verde, visando a redução dos custos do método de adsorção, uma vez que a casca do coco é um resíduo industrial, de baixo custo e abundante nos centros urbanos. É importante ressaltar que o coco verde é um material de difícil descarte e sua biodegradação completa leva em torno de 8 anos. Além disso, a casca do coco verde é composta, principalmente, por lignina e celulose, substâncias que possuem grupos hidroxila, metoxi e carboxílicos, sendo esses prováveis sítios de adsorção de metais (SALVADOR, 2009).

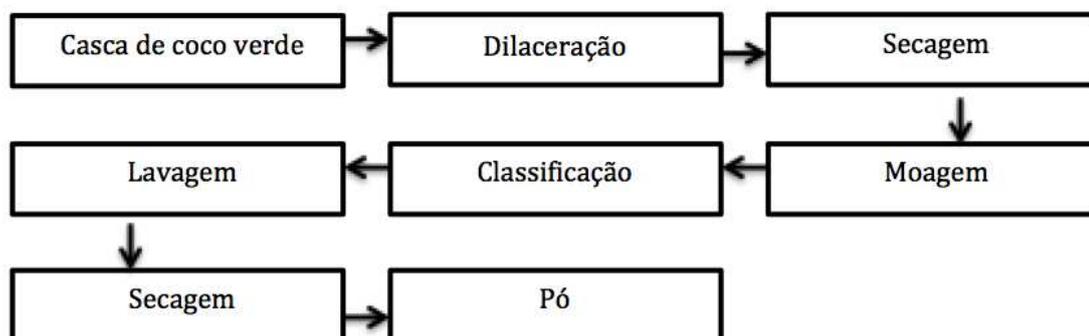
Já que a emissão de efluentes está cada vez maior, este artigo tem como proposta estudar um método alternativo de adsorção, com menores custos quando comparados aos demais métodos de tratamento, utilizando como adsorvente a casca de coco verde.

## **2. Materiais e métodos**

### **2.1. Material adsorvente**

A casca de coco verde, utilizada como matéria-prima principal para o processo de adsorção, passou por várias etapas para gerar o pó da mesma, como pode ser observado no esquema simplificado na Figura 1. (ROSA, 2001).

Figura 1 - Sequência de operações para obtenção do pó da casca de coco verde.



Fonte: Adaptado de Rosa, 2001

Primeiramente, a casca foi dilacerada manualmente, seca em estufas a 60 °C por uma hora e quinze minutos, em seguida passou por um processo de secagem a temperatura ambiente por 24 horas e por fim sofreu o processo de moagem, adaptando um liquidificador como moinho de facas. A secagem foi necessária para reduzir a umidade e garantir um material mais homogêneo. Após a moagem classificou-se granulometricamente, utilizando uma série de peneiras, com aberturas de 2,0mm, 1,18mm, 300µm, 212 µm, 150 µm, 75 µm, a fim de obter uma granulometria de 75 µm.

## 2.2. Caracterização da superfície

A natureza dos metais presentes no pó da casca de coco verde e a análise de presença de poros, foi realizada pela Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raio X (EDS) no Laboratório de Microscopia Eletrônica da Engenharia Metalúrgica na PUC Minas (Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais), unidade Coração Eucarístico. O equipamento é da marca JEOL, modelo IT300.

Além disso, foram coletados espectros de infravermelho da amostra do pó da casca de coco verde, analisando as ligações presentes, assim como a frequência da banda de alguns grupos funcionais importantes no processo de adsorção. A capacidade de remoção de metais utilizando o pó da casca de coco como adsorvente depende da composição química da sua superfície (GAZETTA, 2011). Os espectros foram coletados na faixa de 4000-400 cm<sup>-1</sup> através do software de controle do módulo iZ10 do espectrômetro, OMNIC, da *Thermo Fisher Scientific* no laboratório de Química e Física Forense da Polícia Civil do Estado de Minas Gerais.

### **2.3. Ativação do adsorvente**

A casca de coco foi ativada com uma solução de NaOH à 0,1 mol/L, em temperatura ambiente e agitação constante, durante 24 horas. Posteriormente o material foi lavado com água destilada e filtrado. Esse processo foi repetido até a neutralização do pH e em seguida o material passou por processo de secagem em estufa por 22 horas a 60°C (SALVADOR, 2009).

### **2.4. Soluções**

#### **2.4.1 Solução de cobre**

Como o enfoque do trabalho está em tratamento de efluentes, soluções padrões contendo íons cobre (II) foram preparadas, representando assim amostras do efluente sintético. As concentrações de cobre utilizadas foram de 1,0, 5,0, 10,0, 15,0, 20,0 25,0 e 40,0 mg/L para análise das isotermas de adsorção (SALVADOR, 2009) e para a curva de calibração soluções de 0,5, 1,0, 1,5, 2,5 e 4,0 mg/L. (ACHEAMPONG, et al., 2012).

#### **2.4.2 Soluções de NaOH e HCl**

Para o controle do pH em 6,0 utilizou-se soluções ácidas e básicas, NaOH (hidróxido de sódio) e HCl (ácido clorídrico). Como a lignina dissolve no hidróxido de sódio, foi necessária a utilização de uma solução com baixa concentração, idealmente de 0,01 mol/L e solução de ácido clorídrico de 0,1 mol/L (GAZETTA, 2011).

### **2.5. Adsorção**

O controle do pH inicial foi realizado com soluções de hidróxido de sódio e ácido clorídrico, descritas no item 2.4.2. Segundo Salvador (2009) o pH 6,0 seria o pH ótimo para a adsorção do cobre, de modo que os sítios ácidos do adsorvente estão desprotonados além de evitar a precipitação do hidróxido de cobre.

Os estudos de adsorção foram realizados a temperatura ambiente e agitação (200 rpm), em que 150 mg do adsorvente entrou em contato com 50 mL da solução de cobre por 12 horas. A concentração variou na faixa descrita no item 2.4.1 para ser possível construir as isotermas.

## 2.6. Quantificação

Após a adsorção quantificou-se o cobre presente em solução por espectrometria de absorção atômica (*Equipamento da Shimadzu, Modelo AA-7000*). A análise foi realizada no laboratório de Análise Instrumental da PUC Minas, unidade Coração Eucarístico.

Para garantia dos valores, realizou-se uma curva de calibração linear, variando as concentrações de cobre (II) de 0,5 a 4,0 mg/L como descritas no item 2.4.1 (ACHEAMPONG, et al., 2012).

A quantidade adsorvida foi determinada pela diferença entre a concentração inicial e final de acordo com a Equação 1.

$$q_e = \frac{(c_i - c_f)v}{w} \quad \text{Equação 1}$$

Onde,  $q_e$  é a quantidade adsorvida em mg/g,  $C_i$  é a concentração inicial em mg/L,  $C_f$  é a concentração final em mg/L,  $V$  é volume em litros e  $W$  é a massa de adsorvente em gramas.

## 2.7. Isotermas de adsorção

Após a realização dos experimentos realizou-se o cálculo das isotermas de adsorção, que possibilitam uma avaliação quantitativa. As isotermas expressam a relação entre a quantidade do metal que é adsorvido por unidade de massa do adsorvente e a concentração do metal em solução no equilíbrio a uma determinada temperatura constante (SALVADOR, 2009).

Para a obtenção das isotermas de adsorção, foram realizados experimentos de biossorção a temperatura ambiente. Para o cobre foi utilizada uma faixa de concentração de 0,1 a 40 mg/L já descritas no item 2.4.1. Os modelos de isotermas avaliados foram os de Langmuir e Freundlich.

Para a isoterma de Langmuir, calculou-se a quantidade adsorvida pela Equação 2:

$$Q_e = \frac{Q_m \cdot K_1 \cdot C_f}{1 + Q_m \cdot C_f} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo  $Q_m$ , quantidade máxima adsorvida,  $C_f$ , concentração final e  $K_1$  a constante. Sendo essa constante encontrada pelo inverso do coeficiente linear da linearização do gráfico  $C_f/Q_e$  versus  $C_f$ .

Determinou-se se essa isoterma é favorável ou não através da Equação 3:

$$Rl = \frac{1}{1 + Qm.Kl}$$

Equação 3

Para a isoterma de Freundlich, o cálculo da quantidade adsorvida foi realizado utilizando a Equação 4:

$$Q_e = k_f \times C_f^{1/n}$$

Equação 4

### **3. Resultados e discussão**

Como descrito no item 2.1, a casca de coco verde passou pelo processo de dilaceração manual, em seguida foi levada ao liquidificador, onde se obteve frações menores do material. Realizou-se a sua secagem a temperatura ambiente e a 60°C em uma estufa. Com o material adsorvente já seco, utilizou-se a série de peneiras, determinada no mesmo item, obtendo-se 2,0 g do pó da casca de coco verde com granulometria inferior a 75 µm.

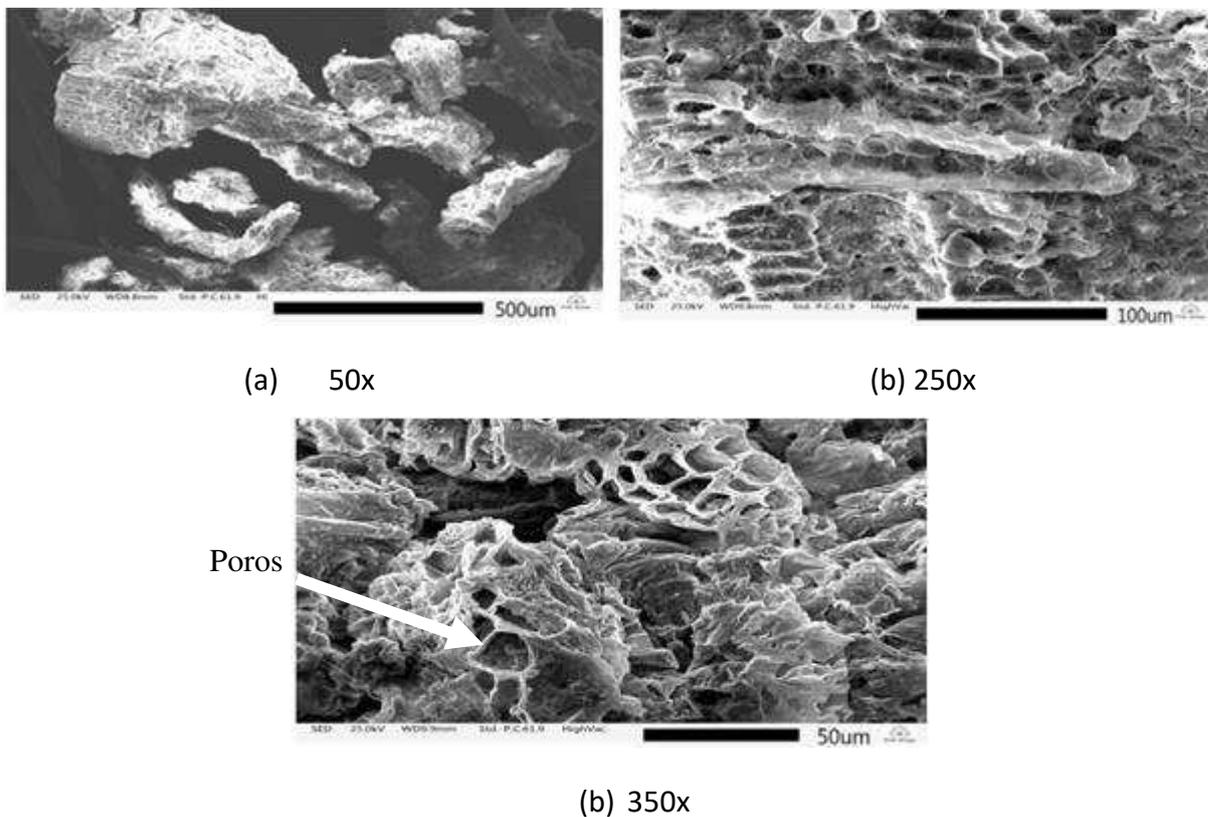
#### **3.1. Caracterização da superfície**

O pó da casca de coco verde gerado foi analisado por dois processos distintos, MEV-EDS e infravermelho, com intuito de caracterizá-lo.

##### **3.1.1 Caracterização pelo MEV-EDS**

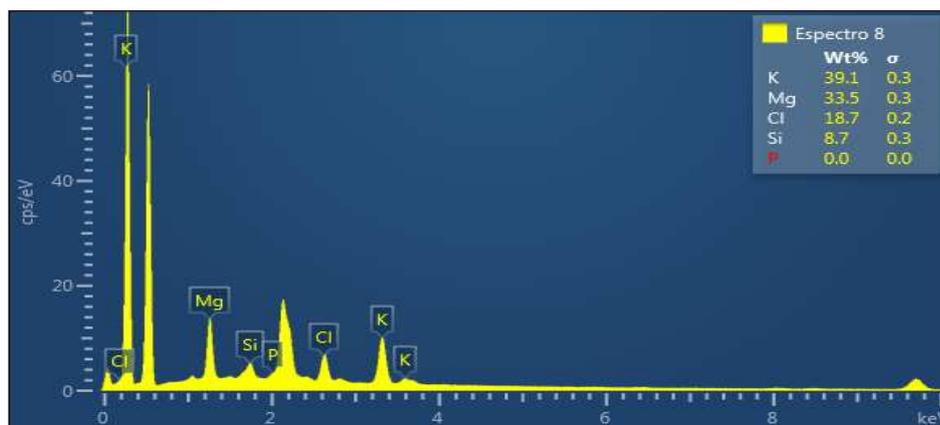
A casca de coco verde é constituída principalmente por matéria orgânica, no entanto, outros elementos estão presentes, como o sódio e o potássio. Estes metais, foram observados através do MEV-EDS, e as microfotografias realizadas foram apresentadas na Figura 2. As microfotografias foram realizadas com amostra de granulometria 75 µm.

Figura 2 - Microfotografias de partículas do pó da Casca de Coco Verde com ampliações indicadas.



Com as microfotografias é possível observar os poros presentes no material analisado, estes poros são responsáveis pela remoção dos íons de cobre (II) presentes em solução. As microfotografias foram semelhantes a aquelas obtidas por Pino, 2005. A Figura 3 representa o EDS das partículas microfotografadas.

Figura 3 - EDS das partículas microfotografadas.

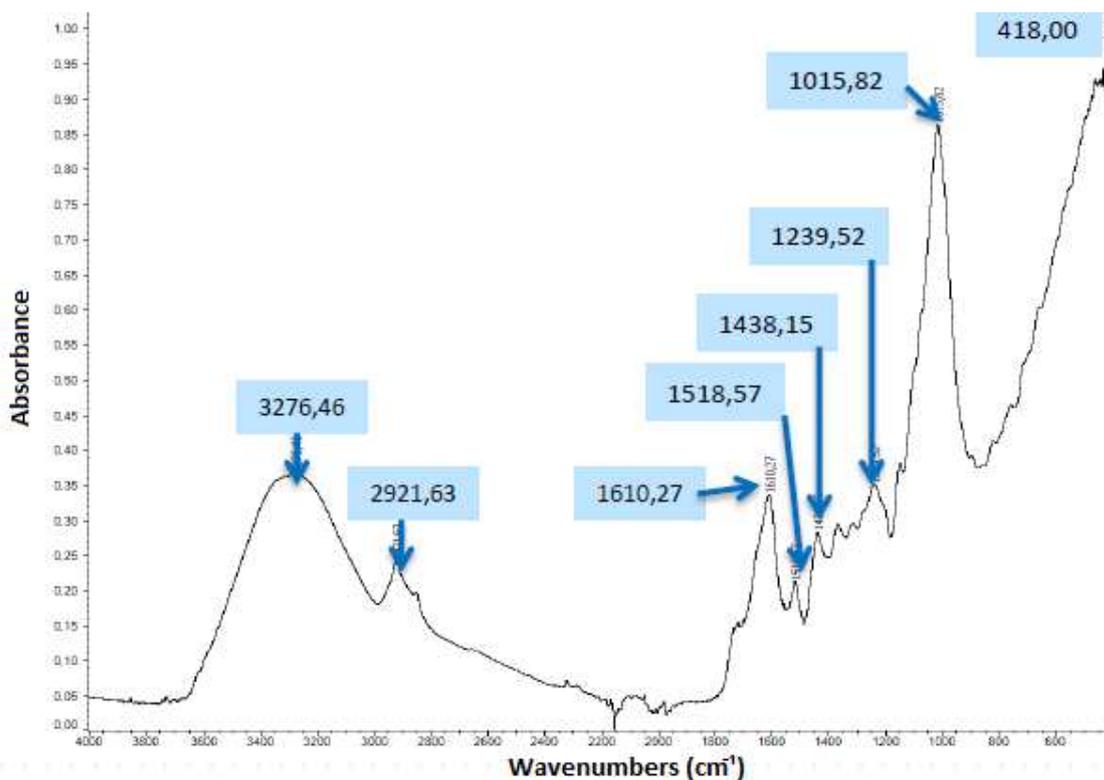


Na Figura 3 é possível observar as bandas referentes ao potássio, magnésio, cloro e silício, e qual a representatividade destes no material analisado. O silício pode ser implicado a presença de dióxido de silício que fornece uma boa resistência mecânica ao pó da casca. Estes metais presentes na casca de coco verde justificam a estrutura lignocelulósica do material adsorvente, que contém grupos funcionais responsáveis por adsorver os íons presentes no meio, incorporando estes elementos em sua estrutura. Os dados obtidos pela análise por EDS são semelhantes aos obtidos pela Embrapa encontrados no estudo de Salvador (2009).

### 3.2 Caracterização pelo infravermelho

Foi coletado o espectro de infravermelho, em absorbância, do pó da casca de coco verde na faixa de  $4000-400\text{ cm}^{-1}$  com resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ . O pico largo em  $3276,46\text{ cm}^{-1}$  foi associado à função hidroxila, presente na estrutura da celulose. O pico em  $2921,63\text{ cm}^{-1}$  corresponde ao estiramento C-H, carbono terciário. O pico em  $1610,27\text{ cm}^{-1}$  foi associado à deformação axial da função carbonila C=O presente na lignina. A vibração no plano molecular de ligações duplas entre carbono (C=C), específico de anéis aromáticos, foi observada na região de  $1438,15\text{ cm}^{-1}$ . Enquanto a deformação axial e angular do grupo cetona, foi relacionada a região de  $1339,52\text{ cm}^{-1}$ . O pico grande em  $1015,82\text{ cm}^{-1}$  representa a deformação angular simétrica de éteres. Abaixo de  $600\text{ cm}^{-1}$  a resolução do espectro foi inferior, impossibilitando a análise dos picos nessa região. Os grupos hidroxila, carbonila, éteres e compostos aromáticos revelam a estrutura lignocelulósica da casca de coco verde, são importantes para o processo de adsorção por constituírem os sítios ativos. O espectro pode ser observado na Figura 4.

Figura 4- Espectro de Infravermelho da Casca de Coco Verde



O espectro coletado foi semelhante ao relatado por Gazetta (2011) que visava à avaliação qualitativa da estrutura química da casca de coco verde ao produzir carvão ativado com hidróxido de sódio de elevada área superficial a partir do material adsorvente. Esta comparação pode ser observada na Tabela 1 analisando a frequência dos principais grupos funcionais.

Tabela 1- Frequência no Infravermelho de grupos funcionais presentes no pó da casca de coco verde

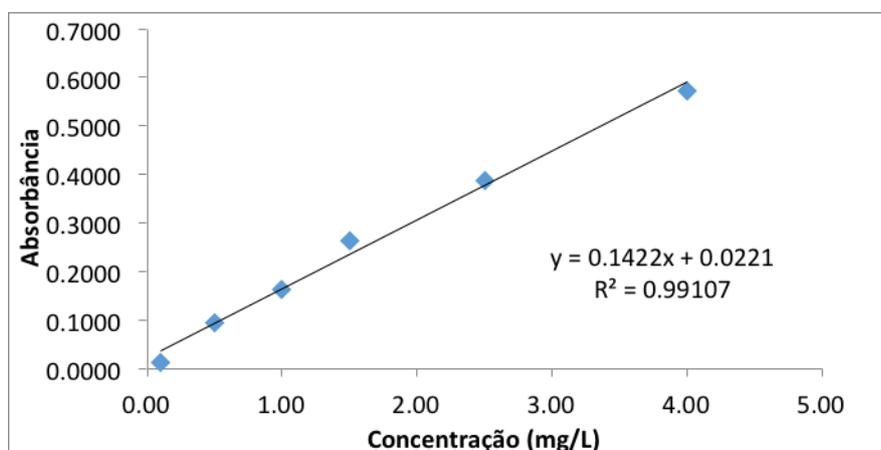
Frequência (cm <sup>-1</sup> )		Grupos Funcionais
GAZETTA, 2011	Coletado	
3404	3276,46	OH
2900	2921,63	CH
1612	1610,27	C=O
1465	1438,15	C=C
1300 – 1100	1339,52	C-C(O)-C
1058	1015,82	C-O-C

### 3.3 Curva de calibração

A partir das soluções de cobre (II) preparadas com as concentrações variadas descritas no item 2.4.1, foi realizada uma curva de calibração, determinando a equação da reta que relaciona a concentração de cobre presente em solução e a absorvância, para que assim seja possível quantificar as amostras de efluente sintético. As análises, representadas na Tabela 2 e na Figura 5, foram feitas utilizando a espectrometria de absorção atômica (ACHEAMPONG, 2012).

Tabela 2- Concentração e Absorbância para a solução de cobre (II)

<b>Curva de Calibração</b>	
<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Absorbância</b>
<b>0,10</b>	0,0122
<b>0,50</b>	0,0941
<b>1,00</b>	0,1641
<b>1,50</b>	0,2648
<b>2,50</b>	0,3888
<b>4,00</b>	0,5730

Figura 5 – Gráfico de Absorbância x Concentração (mg.L<sup>-1</sup>)

Com base na análise gráfica é possível verificar a linearidade da curva e, além disso, o coeficiente de determinação, de  $R^2 = 0,9911$ , indicando assim um bom ajuste do modelo à amostra.

### 3.4 Isotermas de Adsorção

Os modelos de isotermas são fundamentais para descrever a interação do adsorvato com o adsorvente, de maneira que, compreendendo a natureza da interação é possível alcançar o melhor desempenho do adsorvente.

A partir de dados experimentais, foram coletadas as absorvâncias das amostras com as concentrações iniciais. Após a prática da adsorção do Cobre, os efluentes foram analisados quanto à absorvância, permitindo o cálculo das concentrações finais, estes valores iniciais e finais estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Absorvância das concentrações iniciais e finais

Efluente	Inicial		Final	
	Concentração (mg/L)	Absorvância	Concentração (mg/L)	Absorvância
1	1,00	0,5016	-0,0415	0,0162
2	5,00	1,1597	0,1470	0,0430
3	10,00	1,5011	0,2736	0,0610
4	15,00	1,8433	0,3755	0,0755
5	20,00	2,0397	1,8038	0,2786
6	25,00	2,1044	1,4592	0,2296
7	40,00	2,1525	3,7201	0,5511

Através dos dados descritos na Tabela 3 é possível observar que quanto maior for a concentração maior será a absorvância. Nota-se que a concentração final foi inferior a inicial, após ser realizado a adsorção, porém a relação de quanto maior for à concentração maior é a absorvância permaneceu. A quantidade de cobre adsorvida foi calculada para cada concentração pela Equação 1.

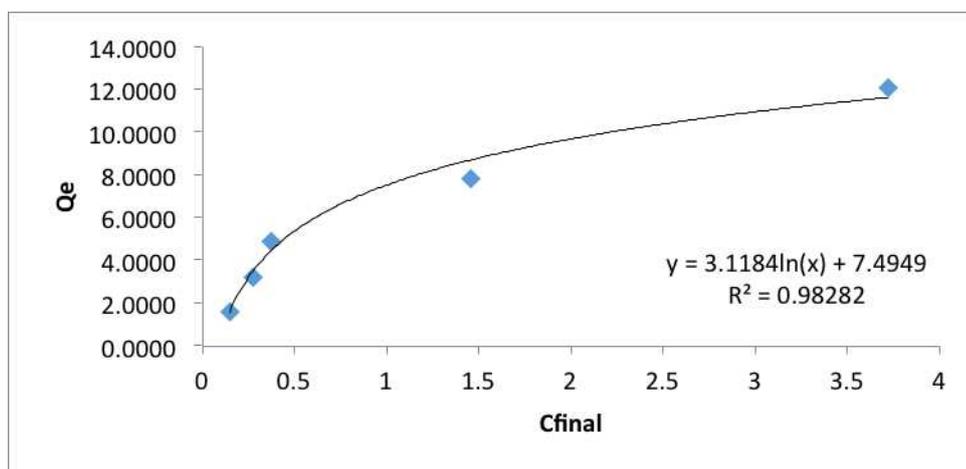
Os valores das quantidades adsorvidas em cada efluente calculados pela equação 1 foram citados na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantidade adsorvida por cada efluente

Efluente	$Q_e$
1	0,3472
2	1,6177
3	3,2421
4	4,8748
5	6,0654
6	7,8469
7	12,0933

A partir dos dados obtidos e calculados foi possível plotar a Isoterma de adsorção do experimento, representado na Figura 6. Na adsorção o pH foi mantido em 6, a solução foi fixada em 50 ml e a massa da casca de coco verde foi fixada em 150 mg.

Figura 6 - Isotermas de Adsorção



Observou-se na Figura 6 um coeficiente de determinação,  $R^2$  próximo de 1, (0,9828), que indica a linearização da curva. As isotermas mais utilizadas na adsorção, segundo Pino (2005), Oliveira (2013) e Pakshirajan (2014) foram as de Langmuir e Freundlich. De acordo com estes estudos, foram utilizadas as isotermas de Langmuir e Freundlich a partir dos dados experimentais obtidos.

### 3.4.1 Isotermas de Langmuir

As isotermas de Langmuir são aquelas nas quais as moléculas adsorvidas se aderem à superfície homogênea do solvente, a energia da entidade adsorvida é a mesma em todos os sítios da superfície e não depende da presença ou ausência de outras entidades adsorvidas nos sítios vizinhos (GONÇALVES *et al*, 2013).

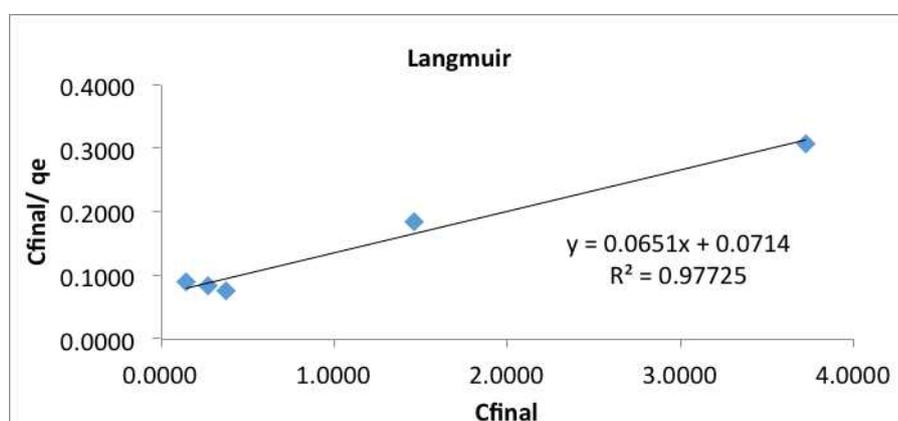
A Tabela 5 apresenta os valores da quantidade adsorvida, concentração final e relação  $C_f/Q_e$  característicos da isoterma de Langmuir, calculados pela Equação 2.

Tabela 5 - Quantidade adsorvida nas concentrações finais e a relação entre as mesmas.

Quantidade Adsorvida	Concentração Final	$C_f/Q_e$
1,6177	0,1479	0,0909
3,2421	0,2736	0,0844
4,8748	0,3755	0,0770
7,8469	1,4592	0,1860
12,0933	3,7201	0,3076

A isoterma de Langmuir obtida através dos dados descritos na Tabela 5 foi representada na Figura 7.

Figura 7 - Isoterma de Langmuir obtida através dos dados descritos na Tabela 7



Com os coeficientes angular e linear encontra-se a quantidade máxima adsorvida e a constante de Langmuir, ambas apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros da Isoterma de Langmuir.

Langmuir	
<b>a</b>	0,0651
<b>b</b>	0,0714
<b>Q<sub>max</sub></b>	15,3609
<b>K<sub>1</sub></b>	0,9114
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9772

Os dados encontrados foram comparados aos dados retirados do artigo de Pakshirajan, (2014). Essa comparação pode ser analisada na Tabela 7.

Tabela 7 - Comparação entre os valores deste trabalho com valores de outros artigos

Langmuir		
Autor/Ano	Q <sub>max</sub> (mg/g)	K <sub>1</sub>
<b>Este trabalho</b>	15,391	0,911765
<b>PAKSHIRAJAN/2014</b>	11,510	0,017

De acordo com a Tabela 7, nota-se que, o valor de Q<sub>max</sub> obtido nesse trabalho, 15,391 mg/g, foi superior ao Q<sub>max</sub> encontrado nos estudos de Pakshirajan (2014), 11,510mg/g, desta maneira pode-se dizer que a constante de energia de adsorção deste trabalho foi maior. E o valor da constante K<sub>1</sub> obtida nesse trabalho, 0,911765, foi superior a ao seu valor comparativo, 0,017, isto indica que o experimento do trabalho tem maior capacidade de adsorver na monocamada que a utilizada em Pakshirajan, 2014. Além disso, foi utilizado, através da equação 3, um parâmetro para determinar se as Isotermas de Langmuir foram favoráveis ou desfavoráveis.

O R<sub>L</sub> é um parâmetro de equilíbrio e pela tabela 8 comparativa de Schons (2010) se o parâmetro estiver entre 1 e 0 a adsorção é favorável, no caso deste trabalho foi encontrado um valor de R<sub>L</sub> = 0,066, utilizando a Equação 3.

Tabela 8 - Intervalos de  $R_L$  para isotermas de Langmuir

Fator de separação ( $R_L$ )	Tipo de isoterma
$R_L > 1$	Desfavorável
$R_L = 1$	Linear
$0 < R_L < 1$	Favorável
$R_L = 0$	Irreversível

Fonte: SCHONS (2010)

A isoterma de Langmuir possui um  $R^2$  de 0,9772, indicado que os dados estão próximos de uma idealidade. Além disso, a isoterma é favorável ( $0 < R_L < 1$ ).

### 3.4.2 Isotermas de Freundlich

A isoterma de Freundlich remete a descrição de adsorção para sítios heterogêneos, onde existe uma proporcionalidade entre a concentração do adsorvato e do adsorvente, dada pela equação de Freundlich, representada pela Equação 4.

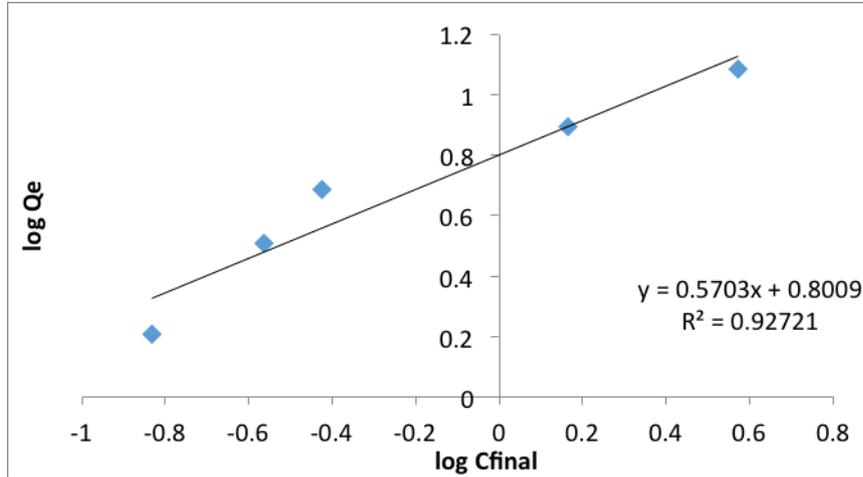
Aplicando logaritmo nos dois lados é possível linearizar a equação. Através do coeficiente angular da reta é possível calcular a constante  $n$  e pelo coeficiente linear a constante  $K_f$ . Para se obter a isoterma de Freundlich aplicou-se o logaritmo e os dados obtidos foram anotados na Tabela 9.

Tabela 9 - Logaritmos da quantidade adsorvida e da concentração final.

$\log(Q_e)$	$\log(C_{final})$
0,2088911	-0,8327533
0,5108327	-0,5629499
0,6879589	-0,4253583
0,8946997	-0,1641185
1,0825446	-0,5705560

Utilizando-se os valores do logaritmo da quantidade adsorvida pelo logaritmo da concentração final plotou-se a isoterma de Freundlich, representada na Figura 8.

Figura 8 - Isoterma de Freundlich



Com os coeficientes angular e linear encontrou-se o valor de  $n$  e a constante de Freundlich,  $K_f$ , esses se encontram na Tabela 10:

Tabela 10 - Parâmetros da Isoterma de Freundlich

Freundlich				
a	b	$R^2$	n	$K_f$
0,5703	0,8009	0,9272	1,7534	2,2275

Os valores obtidos foram comparados aos encontrados com artigo de Pakshirajan (2014) e foram apresentados na Tabela 11 abaixo:

Tabela 11 - Comparação dos parâmetros da isoterma de Freundlich desse trabalho com outros artigos.

Autor/Ano	Freundlich	
	n	$K_f$ (mg/g)
<b>Este trabalho</b>	1,753	2,227
<b>PAKSHIRAJAN/2014</b>	1,66	1,533

O valor de  $n$  do modelo está qualitativamente relacionado com a distribuição de sítios ativos energéticos na superfície da casca do coco, isto é, relacionado à intensidade da adsorção, neste experimento, o valor foi de 1,753463. Segundo Schons (2010), o valor de  $n$  demonstra se o processo de adsorção é favorável, os valores estão na faixa de 1 a 10, considerando favorável a adsorção do cobre na casca de coco verde. Comparando os valores da Tabela 11 pode-se observar que o valor de  $n$  está próximo ao encontrado por Pakshirajan (2014). O coeficiente de adsorção de Freundlich,  $K_f$ , sugere a adsorção do metal na casca de coco, isto é, a capacidade de uma superfície em reter determinado soluto. Esse coeficiente pode ser entendido como uma medida da distribuição de equilíbrio entre as fases sólidas e líquidas, sendo assim quanto maior a capacidade adsorptiva, maior será  $K_f$ . Neste trabalho o  $K_f$  encontrado, 2,227 mg/g foi maior que o artigo comparado, 1,533 mg/g. Portanto, conclui-se que ocorreu uma maior adsorção. Na isoterma de Freundlich, o  $R^2$  ficou próximo de um, indicando idealidade.

#### 4. Conclusão

Os resultados obtidos indicaram que o pó da casca de coco verde tratado com hidróxido de sódio 0,1 mol/L apresentou características favoráveis ao seu uso como material adsorvente dos metais pesados, sendo comprovada através das análises realizadas no MEV-EDS e no infravermelho confirmando a presença de poros em sua estrutura e de grupos funcionais advindos da estrutura lignocelulósica, respectivamente. E, em seguida, a modificação do material adsorvente com NaOH 0,1 mol/L, permitiu o aumento da capacidade de adsorção da biomassa, tendo mais grupos hidroxilas livres para reagir com o metal.

Para o processo da curva de calibração notou-se linearidade no gráfico. Com os dados analisados através da espectrometria de absorção atômica, sendo a quantidade de soluto adsorvido por unidade de adsorvente e a concentração de soluto adsorvido, a isoterma de Langmuir demonstrou ser o método mais eficaz por apresentar um coeficiente de correlação igual a 0,9772, sendo esse mais próximo de 1. Desta maneira, conclui-se que a isoterma comporta-se idealmente, como monocamada, na qual os sítios são semelhantes e energeticamente equivalentes e onde não há interação entre as moléculas adsorvidas em sítios vizinhos.

Com os resultados apresentados, é possível afirmar que esse material é um bom bioadsorvente, o que contribui para a eficácia do processo. Como projetos futuros, tem-se a ideia de estudar o processo de dessorção, com o intuito de reaproveitar a casca utilizada e o cobre absorvido, além de fazer o estudo da cinética da reação.

## REFERÊNCIAS

ACHEAMPONG, M.A., DAPCIC, A.D., YEH, D., LENS, P.N.L. Cyclic Sorption and Desorption of Cu(II) onto Coconut Shell and Iron Oxide Coated Sand. **Separation Science and Technology**. v. 48, p. 2786-2794, 2012.

GAZETTA, A. L. NaOH-activated carbon of high surface area produced from coconut shell: Kinetic and equilibrium studies from the methylene blue adsorption. **Chemical Engineering Journal**, Brazil, 22 August 2011.

GONÇALVES, M. S. , BETTIN J.P., SILVA JUNIOR L.C.S., SAMPAIO S.C. Adequação dos modelos de Langmuir e Freundlich na adsorção de cobre em solo argiloso do sul do Brasil. **HOLOS**, Agosto 2013.

OLIVEIRA , R. F. **Estudo da Adsorção de Cromo Hexavalente em Altas Concentrações**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do sul. 2013. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/96390>>. Acesso em: 21 ago. 2016. Dissertação de mestrado.

PAKSHIRAJAN, K.; ANNACHHATRE, A.P.; LENS, P.N.L. Removal of Cu (II) by biosorption on to coconut shell in fixed-bed column systems. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. v.19, p. 841-848 , 2014.

PINO, G. A. H. **Biossorção de Metais Pesados Utilizando Pó da Casca de Coco Verde**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2005. Disponível em:<[http://www.nima.puc-rio.br/cursos/pdf/036\\_gabriela.pdf](http://www.nima.puc-rio.br/cursos/pdf/036_gabriela.pdf)> Acesso em: 21 ago. 2005.

ROSA, M. F. Caracterização do Pó da Casca de Coco Verde usado como substrato agrícola. **Comunicado Técnico Embrapa Agroindústria Tropical**, Brasil, v. 54, 2001.

SALVADOR, G. **Estudo da adsorção de cobre (II) usando como adsorvente pó da casca de coco verde ativada com hidróxido de sódio**. Florianópolis: UFSC, 2009. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/99786/Graziela.pdf?sequence=1>> Acesso em: 27 ago. 2016. Relatório de estágio supervisionado.

SCHONS, E. **Fenômenos interfaciais – aula 5: Adsorção, isotermas e filmes monomoleculares**. Goiás: Universidade Federal de Goiás. Disponível em: < [https://cetm\\_engminas.catalao.ufg.br/up/596/o/fen\\_int\\_5.pdf](https://cetm_engminas.catalao.ufg.br/up/596/o/fen_int_5.pdf)>. Acesso em: 22 out. 2016.

TRIGUEIRO, A. **Meio Ambiente no século 21**, Ed. Sextante 2003, 13.