

## II-141 - CASCA DA LARANJA (*Citrus sinensis* L. *osbeck*) COMO ADSORVENTE DE ÍONS COBRE ( $\text{Cu}^{2+}$ ) EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS INDUSTRIAIS

**Fernando Fernandes Vieira**<sup>(1)</sup>

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande. Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba. Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba.

**Cíntia Kelly de Lima Farias**<sup>(2)</sup>

Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba.

**Marcello Maia de Almeida**<sup>(3)</sup>

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba. Doutor em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande. Professor da Universidade Estadual da Paraíba.

**Carlos Antônio Pereira de Lima**<sup>(4)</sup>

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba. Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba. Professor da Universidade Estadual da Paraíba.

**Geralda Gilvânia Cavalcante de Lima**<sup>(5)</sup>

Engenheira Química pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba. Doutora em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba. Professora da Universidade Estadual da Paraíba.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rua Baraúnas, 351 - Bairro Universitário - Campina Grande - PB, 58429-500 – Brasil - Fone/Fax: 83 3315-3300 - e-mail: [fernandvieira@gmail.com](mailto:fernandvieira@gmail.com).

### RESUMO

O crescimento populacional e industrial é inquestionável. Contudo, atrelado a esse crescimento têm-se a contaminação dos recursos hídricos em virtude principalmente do descarte inadequado de efluentes industriais. Dentre os principais contaminantes presentes nos efluentes se encontra os metais pesados, com destaque para o íon Cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) muito utilizado industrialmente na fabricação de ligas, fios condutores, tubulações, inseticidas, entre outros. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi obter um material bioadsorvente a partir da secagem da casca da laranja, variedade pêra (*Citrus sinensis* L. *osbeck*) e aplicar um planejamento fatorial experimental no estudo do processo de adsorção, a fim de avaliar o potencial do bioadsorvente para a remoção do íon Cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) de efluentes industriais. O bioadsorvente foi obtido através da secagem das cascas de laranja em estufa com circulação de ar a 80°C por 24 h; em seguida foi triturado em tamanhos aproximadamente iguais de 1,0 cm<sup>2</sup>. Parte do bioadsorvente foi armazenada *in natura* e parte foi modificada em ácido clorídrico 0,10M. Em seguida, foi elaborado um planejamento fatorial experimental tomando como parâmetros operacionais massa, concentração, pH, tempo e modificação com HCl 0,10M. Os resultados obtidos das análises realizadas no planejamento fatorial 2<sup>5</sup> com modificação do bioadsorvente em HCl 0,10M foi imprescindível na obtenção das condições ótimas das variáveis independentes, as quais foram verificadas através das variáveis resposta (qt) e (red %), que apresentaram coeficiente de correlação ( $R^2$ ) de 98,8% para qt e 99,10% para red, comprovando então o potencial da casca da laranja pêra como bom bioadsorvente, para o processo de sorção do íon Cobre (II), especialmente o bioadsorvente modificado com ácido clorídrico, sendo este uma alternativa viável para destinar o resíduo agroindustrial da laranja, bem como substituir processos clássicos de tratamento de efluentes. Assim, o planejamento experimental foi essencial para otimização do processo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Casca da laranja, Planejamento fatorial, Adsorção, Íon Cobre.

## INTRODUÇÃO

A contaminação da água por metais pesados tem se intensificado e se tornando um sério problema socioambiental, pelo fato destes possuírem alto teor tóxico e serem bioacumulativos, podendo causar sérios danos aos corpos aquáticos devido à toxicidade contida nos compostos, ocasionando a deterioração dos ecossistemas e afetando à saúde dos seres vivos (ANASTOPOULOS *et al.*, 2015). Embora os metais sejam naturalmente encontrados nos corpos hídricos, diferindo em suas concentrações que geralmente são muito baixas. Essa concentração pode aumentar, principalmente em virtude do descarte inadequado de efluentes domésticos e industriais. Dentre os principais metais encontrados nos efluentes têm-se o cobre, utilizado industrialmente na fabricação de ligas, fios condutores, na galvanoplastia, tubulações, inseticidas, dentre outros (GUNTHER, 1998).

O tratamento convencional dos efluentes líquidos contendo metais pesados se dá em sua maioria por adsorção com carvão ativado, coagulação/floculação, eletrocoagulação, precipitação química, oxidação avançada, troca iônica, processos biológicos, entre outros (ANASTOPOULOS *et al.*, 2015). No entanto, devido às desvantagens e inconvenientes dos tratamentos convencionais como gasto energético, elevado custo de operação e dos materiais utilizados, a busca por tecnologias alternativas e mais eficientes se faz necessária.

Uma linha de pesquisa crescente e promissora tem sido a adsorção de metais pesados utilizando biomassa vegetal, em virtude da casca de diferentes espécies mostrarem alta capacidade de remoção de íons metálicos em soluções aquosas, de modo que, muitas pesquisas vêm sendo realizadas voltadas para essa vertente, visando à possibilidade de substituição do carvão ativado, sendo então uma alternativa de baixo custo e promissora (SEN *et al.*, 2015). Nessa perspectiva, pesquisas com bioadsorventes obtidos a partir de biomassa como a casca e o mesocarpo de diferentes frutos como banana, coco verde, laranja, maracujá, entre outros é denominada de bioadsorção, ou seja, o uso de biomassa na retenção, remoção ou recuperação de metais (VOLESKY, 2001; ANASTOPOULOS *et al.*, 2015).

Desse modo, a eficiência do processo de bioadsorção está intrinsecamente ligada às características do bioadsorvente selecionado, devendo ser levado em consideração à alta seletividade, área superficial, o volume e a distribuição de tamanho dos poros, alta capacidade, baixo custo e estar disponível em grandes quantidades. (SAKA *et al.*, 2012).

O enfoque dado à casca da laranja envolve muitos aspectos, desde a produção e consumo mundial, tornando-a assim acessível, atrelado ao baixo custo; A composição da casca da laranja se dá principalmente, por celulose, pectina, ácido pécico, hemicelulose, lignina, pigmentos de clorofila dentre outros hidrocarbonetos de baixo peso molecular (XUAN *et al.*, 2006; SAKA *et al.*, 2012). Assim, há presença de vários grupos funcionais como carboxila e hidroxila na composição da casca fazem com que esta apresente características adsorventes na remoção de íons metálicos e corantes presentes em meio aquoso (LIANG *et al.*, 2010). Tendo sua capacidade de adsorção aumentada significativamente quando a biomassa é modificada quimicamente (SOUZA *et al.*, 2012).

Frente a essas premissas, buscando uma tecnologia promissora, de baixo custo operacional e elevada disponibilidade para realização, o presente estudo teve como objetivo obter um material bioadsorvente a partir da casca da laranja e aplicar um planejamento fatorial experimental no estudo do processo de adsorção utilizando material bioadsorvente, e assim, avaliar a influência de diferentes condições operacionais (massa, concentração, pH e tempo) na bioadsorção do contaminante inorgânico cobre (II) presente em efluentes industriais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### ADSORVENTE

A matéria-prima utilizada foi a casca da laranja (*Citrus sinensis* L. *osbeck*), do tipo pêra, adquirida na feira central da cidade de Campina Grande – PB (Figura 1). A parte da polpa da fruta não foi utilizada, sendo objeto de estudo apenas a casca da laranja, que foram selecionadas visualmente por sua cor, consistência e maturação.

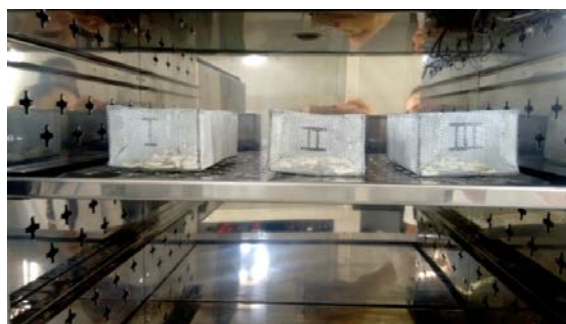


**Figura 1 – Matéria-prima do estudo, laranjas tipo pêra, (*Citrus sinensis L. osbeck*).**

As cascas foram, inicialmente, lavadas com água de abastecimento, posteriormente com água destilada, removida a polpa e em seguida cortadas em tamanhos aproximadamente iguais de 1,0 cm<sup>2</sup>, visando aumentar a superfície de transferência de calor e massa, facilitando a redução do teor de umidade do material (Figura 2). Logo em seguida, uma amostra do material foi levada para realizar a análise de umidade inicial do produto, pelo método de estufa durante 24 horas à temperatura de 105°C, sendo realizada em triplicata. O processo de secagem foi realizado em estufa com circulação de ar na temperatura de 80° C, por um período de tempo de 24h (Figura 3).



**Figura 2 – Cascas da laranja cortadas em tamanhos aproximados, procedimento realizado em triplicata.**



**Figura 3 – Secagem em estufa com circulação de ar na temperatura de 80°C.**

## **TRATAMENTO DO BIOADSORVENTE**

Ao fim do experimento de secagem, o material obtido foi triturado no liquidificador doméstico (Wallita®) no tempo de 2 minutos, mantendo o cuidado deste não se transformar em pó, sendo em seguida armazenado. Parte do material bioadsorvente obtido após trituração foi submetido à modificação em solução de HCl 0,10M em contato por 24 horas em agitador magnético. Seguida às 24 horas de ativação, o material foi lavado por 4 vezes seguidas em 1L de água destilada, por um tempo de meia hora cada lavagem, a fim de remover os íons cloreto presentes, sendo a remoção deste monitorada através do nitrato de prata. Após ativação e lavagem, o material foi levado à estufa com circulação de ar para secagem a 80°C durante 24h, para então ser utilizado (Figura 4).



**Figura 4 - Material bioadsorvente após ativação em ácido clorídrico 0,10 molar, e posterior secagem em estufa com circulação de ar a 80°C.**

## ADSORVATO

Como adsorvato utilizou-se uma solução estoque preparada a partir do sulfato de Cobre (II) PA produzido pela empresa Vetec Química (Sigma-Aldrich®) contendo 1000 mg.L<sup>-1</sup> de cobre. A partir da solução estoque, foram preparadas por diluição as soluções de trabalho, usadas nos ensaios de adsorção. O procedimento adotado para determinação do íon cobre (II) na amostra foi o método da espectrofotometria utilizando o PAR [4-(2'-Piridilazo) resorcinol] como agente complexante. Foi selecionado o comprimento de onda em 510 nm, no qual o composto em estudo absorve o máximo de radiação de acordo com literatura disponível e verificada no espectro (SP 2000 UV). Em seguida, foi construída a curva de calibração utilizando solução de sulfato de Cobre (II) em diferentes concentrações num intervalo de 0 a 10 mg.L<sup>-1</sup>.

## PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Foi realizado um planejamento fatorial para avaliar a influência das variáveis experimentais (massa, concentração, pH e tempo) do material *in natura* sobre duas respostas, a quantidade de Cobre (II) adsorvido por unidade de massa do adsorvente (qt) e a redução da concentração da solução de cobre (Red %), a fim de determinar as melhores condições de trabalho. As variáveis independentes utilizadas no estudo são apresentadas na Tabela 1 com valores codificados e reais.

**Tabela 1 - Valores codificados e reais das variáveis operacionais da cinética de adsorção.**

Pontos	-1	1
Massa (g)	0,20	0,40
Concentração(mg/L)	20	40
pH	3	5
Tempo (min)	20	40

Com base nas condições operacionais apresentadas na tabela acima, as amostras foram colocadas em mesa agitadora (Novatecnica®) a 100 rpm de agitação sob temperatura ambiente do laboratório ( $\cong 25^{\circ}\text{C}$ ). As amostras foram retiradas e filtradas usando como meio filtrante peneira. O sobrenadante foi centrifugado (Fanem® - centrifuga baby 206) sob uma velocidade de rotação de 2400 rpm durante 30 minutos para que ocorresse a sedimentação dos sólidos em suspensão. Por fim, foi feita a determinação da concentração de cobre residual, usando balões de 25ml, contendo 5ml do tampão bórax, 5ml da amostra, 5ml do PAR e aferição do balão com a solução tampão de bórax. As amostras ficaram em repouso por 30 minutos para então ser realizada a leitura.

Foi feito um planejamento fatorial 2<sup>5</sup>, resultando em 32 experimentos. Os parâmetros operacionais foram massa, concentração, pH, tempo e modificação com HCl0,10M. A matriz do planejamento experimental modificado é apresentada na Tabela 2.

A resposta utilizada para determinar a eficiência do processo foi à capacidade adsortiva ( $q$  em mg g<sup>-1</sup>), calculada pela Equação 1. E a quantidade de íons removida (red %) é representada pela Equação 2. Tendo a influência dos parâmetros em estudo sobre a cinética do planejamento fatorial calculada através de análises estatísticas utilizando o software Minitab, sendo feitos tanto para qt como para redução diagrama de Pareto, gráficos de contorno e análise de variância.

$$q = \frac{V(C_i - C_t)}{M} \quad (1)$$

Em que,

$C_i$  - concentração inicial do cobre (II) (mg/L);

$C_t$  - concentração do cobre (II) no tempo t (mg/L);

$M$  - massa do bioadsorvente (g);

$V$  - volume da solução do cobre (II) (mL).

$$red = \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right) \times 100 \quad (2)$$

Onde,  $C_f$  – concentração final

**Tabela 2 - Matriz do planejamento fatorial  $2^5$  para avaliar a influência da ativação.**

Experimentos	Massa	Concentração	pH	Tempo	Ativação
1	-1	-1	-1	1	N
2	-1	-1	-1	1	N
3	-1	1	1	1	N
4	-1	-1	-1	-1	N
5	1	1	-1	-1	N
6	1	-1	-1	1	N
7	-1	-1	1	-1	N
8	1	1	-1	1	N
9	1	1	1	1	N
10	-1	1	-1	1	N
11	-1	1	-1	1	N
12	1	-1	1	1	N
13	1	-1	-1	1	N
14	-1	-1	1	1	N
15	-1	1	-1	-1	N
16	-1	1	-1	-1	N
17	1	1	-1	-1	S
18	-1	1	1	-1	S
19	1	1	1	-1	S
20	-1	1	1	1	S
21	1	1	1	-1	S
22	1	-1	1	-1	S
23	-1	-1	-1	-1	S
24	1	1	-1	1	S
25	1	1	1	1	S
26	-1	1	1	-1	S
27	-1	-1	1	-1	S
28	1	1	-1	-1	S
29	1	-1	-1	-1	S
30	1	-1	-1	-1	S
31	1	-1	1	-1	S
32	-1	-1	1	1	S



## RESULTADOS

Os resultados obtidos no planejamento fatorial  $2^5$  com modificação do bioadsorvente em HCl 0,10M são observados na Tabela 3. A partir desses resultados foi realizada uma análise estatística para verificar o efeito das variáveis operacionais da cinética de adsorção, tendo como variáveis resposta a quantidade de Cu (II) adsorvida por massa utilizada (qt), e a redução após o processo de adsorção (red %).

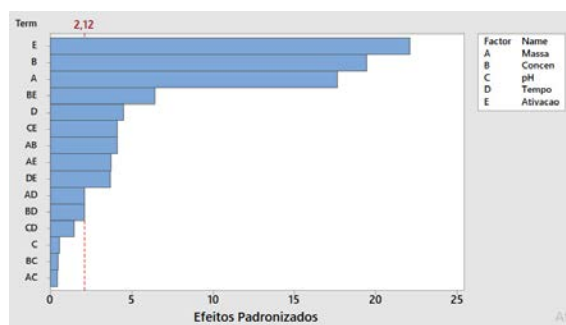
**Tabela 3 - Valores das variáveis independentes e variáveis resposta (QT e Redução%) do planejamento fatorial com bioadsorvente modificado.**

Exp.	Massa (g)	Conc. (mg/L)	pH	Tempo (Min)	Ativação	QT (mg.g <sup>-1</sup> )	Red (%)
1	0,2	20	3	20	Não	0,9959	39,83
2	0,4	20	3	20	Não	0,3942	31,53
3	0,2	40	3	20	Não	1,8017	36,03
4	0,4	40	3	20	Não	0,9419	37,68
5	0,2	20	5	20	Não	0,8800	35,20
6	0,4	20	5	20	Não	0,3459	27,67
7	0,2	40	5	20	Não	1,6328	32,66
8	0,4	40	5	20	Não	0,7537	30,15
9	0,2	20	3	40	Não	1,2275	49,10
10	0,4	20	3	40	Não	0,3797	30,37
11	0,2	40	3	40	Não	2,1155	42,31
12	0,4	40	3	40	Não	1,0602	42,41
13	0,2	20	5	40	Não	0,6870	27,48
14	0,4	20	5	40	Não	0,2421	19,37
15	0,2	40	5	40	Não	1,5459	30,92
16	0,4	40	5	40	Não	0,8454	33,81
17	0,2	20	3	20	SIM	1,5558	62,23
18	0,4	20	3	20	SIM	0,9975	79,80
19	0,2	40	3	20	SIM	2,9022	58,04
20	0,4	40	3	20	SIM	1,8927	75,71
21	0,2	20	5	20	SIM	1,8260	73,04
22	0,4	20	5	20	SIM	0,9830	78,64
23	0,2	40	5	20	SIM	3,3897	67,79
24	0,4	40	5	20	SIM	2,0568	82,27
25	0,2	20	3	40	SIM	2,0095	80,38
26	0,4	20	3	40	SIM	1,1495	91,96
27	0,2	40	3	40	SIM	3,8144	76,29
28	0,4	40	3	40	SIM	2,2620	90,48
29	0,2	20	5	40	SIM	2,1929	87,71
30	0,4	20	5	40	SIM	1,1157	89,26
31	0,2	40	5	40	SIM	4,2102	84,20
32	0,4	40	5	40	SIM	2,3295	93,18

A remoção do íon Cobre (II) para o bioadsorvente modificado atingiu pouco mais de 93% de eficiência, tendo o bioadsorvente modificado percentuais de remoção mais elevados, fato este já esperado em virtude da ativação química com HCL remover pectina, favorecendo o aumento de sítios ativos na superfície adsorvente, aumentando a área superficial e favorecendo o fenômeno da adsorção. A variável resposta Qt também teve maiores valores de remoção para o bioadsorvente modificado, como mostra a tabela 3.

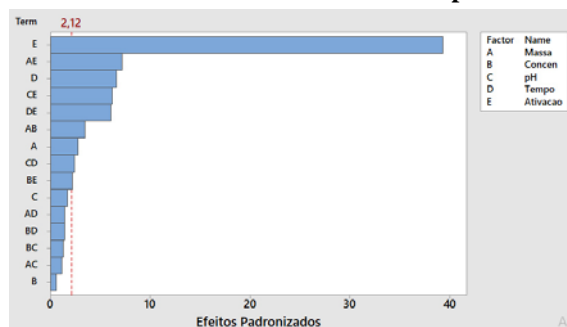
A influência das variáveis independentes (massa, concentração, pH, tempo e ativação) na variável resposta (qt) e (red %) do material modificado é apresentada nas Figuras 5 e 6, representadas pelo diagrama de Pareto.

**Figura 5 - Diagrama de Pareto do material modificado para a variável resposta qt.**



Analisando a figura 5 pode-se inferir que a ativação foi a variável mais importante do processo de biossorção do íon Cobre (II) com bioadsorvente modificado. Além de a ativação ser positiva, as variáveis concentração e massa também exerceram efeito positivo, tendo grande influência no processo. Isso significa que à medida que a massa é diminuída e a concentração aumentada, a quantidade de íon Cobre (II) adsorvida aumenta. O binômio concentração\*ativação também foi uma variável significativa, assim como, o tempo e as interações pH\*Ativação, massa\*concentração, massa\*ativação, tempo\*ativação.

**Figura 6 - Diagrama de Pareto do material modificado para a variável resposta RED (%).**



A tabela 4 mostra os efeitos e o coeficiente de regressão das variáveis independentes e das interações para variável resposta qt, os quais além da modificação, a concentração e o tempo também apresentaram valores de coeficiente positivos. As variáveis independentes massa e pH tiveram efeito negativo para qt, ou seja, a medida que se aumenta a massa e o pH o processo é favorecido.

**Tabela 4 - Efeitos estatisticamente significativos das variáveis independentes sobre a variável resposta qt do planejamento experimental.**

<b>Termos</b>	<b>Efeitos</b>	<b>Coefficiente de Regressão</b>
Massa	- 0, 9398	- 0, 4649
Concentração	1, 0358	0, 5179
pH	- 0, 0290	- 0, 0145
Tempo	0, 2398	0, 1199
Ativação	1, 1774	0, 5887
Massa*Conc	- 0, 2190	- 0, 1095
Massa*pH	- 0, 0217	- 0, 0109
Massa*tempo	- 0, 1125	0, 0563
Massa*Ativ	- 0, 1994	- 0, 0997
Conc*pH	0, 0256	0, 0128
Conc*Tempo	0, 1116	0, 0558
Conc*Ativ	0, 3427	0, 1713
pH* Tempo	- 0, 0772	- 0, 0386
pH*Ativ	0, 2190	0, 1095
Tempo*Ativ	0, 1952	0, 0976

A Tabela 5 mostra os efeitos positivos das variáveis independentes e das interações para variável red (%). O pH para variável resposta redução apresentou coeficiente negativo, ou seja, a medida que aumenta este favorece o processo, no entanto, o melhor resultado se deu em pH 4,0 pois, em pH 5,0 a solução estava precipitando.



**Tabela 5- Efeitos estatisticamente significativos das variáveis independentes sobre a variável resposta Red (%) do planejamento experimental.**

<b>Termos</b>	<b>Efeitos</b>	<b>Coefficiente de Regressão</b>
Massa	3, 192	1, 596
Conc	0, 647	0, 323
pH	-1, 925	-0, 962
Tempo	7, 560	3, 780
Ativação	45, 279	22, 640
Massa*Conc	3, 988	1, 994
Massa*pH	-1, 273	-0, 637
Massa*Tem	-1, 635	-0, 817
Massa*Ativ	8, 259	4, 130
Conc*pH	1, 430	0, 715
Con*Tempo	1, 599	0, 799
Conc*ativ	- 2, 528	-1, 264
pH*Tempo	- 2, 745	-1, 373
pH*Ativ	7, 077	3, 538
Tempo*Ativ	6, 932	3, 466

A Anova e o coeficiente de determinação para variável resposta qt do material modificado é apresentado na Tabela 6, a qual apresenta um coeficiente de correlação de 98,8% sendo, assim, considerada estatisticamente significativo.

**Tabela 6 – ANOVA e coeficiente de determinação do planejamento fatorial tendo como variável dependente qt.**

<b>Fonte de variação</b>	<b>Soma dos Quadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Média Quadrática</b>	<b>F (calculado)</b>	<b>F (tabelado)</b>	<b>Teste F</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Regressão</b>	29, 7928	15	1, 9862	87,49	2,35	37,22	98,8%
<b>Residual</b>	0, 3633	16	0, 0227				
<b>Total</b>	30, 1561	31					

Para variável redução o R<sup>2</sup> foi ainda mais significativo com 99,1% (Tabela 7) para o bioadsorvente modificado, sendo o modelo considerado estatisticamente significativo e preditivo.

**Tabela 7 – ANOVA e coeficiente de determinação do planejamento fatorial tendo como variável dependente redução (%)**

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	GL	Média Quadrática	F (calculado)	F (tabelado)	Teste F	R <sup>2</sup>
<b>Regressão</b>	18613,9	15	1240,9	117,06	2,35	49,81	99,1%
<b>Residual</b>	169,3	16	10,6				
<b>Total</b>	18783,2	31					

Desse modo, o planejamento fatorial experimental aplicado foi imprescindível na obtenção das condições ótimas das variáveis independentes, sendo verificada grande influência da massa, concentração, pH e ativação, estas verificadas através das variáveis resposta (qt) e (red %), que apresentaram coeficiente de correlação (R<sup>2</sup>) de 98,8% para qt e 99,10% para red. Assim, o planejamento experimental foi essencial para otimização do processo.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho foi avaliado o potencial da casca da laranja pêra (*Citrus sinensis L. osbeck*) como bioadsorvente para remoção dos íons Cobre (II) de efluentes industriais. De modo que, pode-se concluir que o planejamento fatorial experimental aplicado foi imprescindível na obtenção das condições ótimas das variáveis independentes, sendo verificada grande influência da massa, concentração, pH e ativação, estas verificadas através das variáveis resposta (qt) e (red %), que apresentaram coeficiente de correlação (R<sup>2</sup>) de 98,8% para qt e 99,10% para red. Assim, o planejamento experimental foi essencial para otimização do processo.

Pode-se inferir também que a casca da laranja pêra se mostrou um bom bioadsorvente na remoção dos íons de Cobre (II), principalmente quando feita a modificação ácida na sua superfície, obtendo em torno de 93% de eficiência de remoção. Outro fator positivo atrelado a esse bioadsorvente é a alta disponibilidade no Brasil, em virtude do país ser um dos maiores produtores de suco de laranja no mundo, tendo-se elevada geração desse resíduo agroindustrial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANASTOPOULOS, I.; KYZAS, G. Z. Progress in batch biosorption of heavy metals onto algae. *Journal of Molecular Liquids*, v. 209, n. 1, p. 77-86, 2015.
2. GUNTHER, W. M. R. Contaminação ambiental por disposição inadequada de resíduos industriais contendo metais pesados: estudo de caso. São Paulo, 1998. 129 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
3. LIANG S., GUO Xue-yi FENG Ning-chuan TIAN Qing-hua. Effective removal of heavy metals from aqueous solutions by orange peel xanthate. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. V. 20, 187-191 p. 2010.
4. SAKA, C.; SAHIN, O.; KÜÇÜK, M. M. Applications on agricultural and forest waste adsorbents for the removal of lead (II) from contaminated waters. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 9, n. 2, p. 379-394, 2012.
5. SEN, A. et al. Heavy metals removal in aqueous environments using bark as a biosorbent. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 12, n. 1, p. 391-404, 2015.
6. SOUSA NETO, V. O. Vicente. *Modificação química da casca do coco bruto (Cocos Nucifera) para remoção de Cu (II) de efluente sintético e industrial: estudo de isoterma de adsorção, cinética e coluna de leito fixo*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), 170 f., 2012.
7. VOLESKY, B. Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. *Hydrometallurgy*, v. 59, p. 203-216, 2001.
8. XUAN, Z. et al. Study on the equilibrium, kinetics and isotherm of biosorption of lead ions onto pretreated chemically modified orange peel. *Biochemical Engineering Journal*, v. 31, n. 2, p. 160-164, 2006.