

# Aplicação de biomassa fúngica de *Pleurotus ostreatus* em processo de bioissorção de íons cobre (II)

## Application of fungal biomass of *Pleurotus ostreatus* in the process of biosorption of copper ions (II)

---

### Ana Paula Buratto

Acadêmica do curso Bacharelado em Química Industrial e/ou Licenciatura em Química pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Acadêmica do curso Licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Pato Branco (PR), Brasil, na modalidade à distância.

### Raquel Dalla Costa

Engenheira Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) – Toledo (PR), Brasil. Mestre e Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) – Maringá (PR), Brasil. Professora de magistério superior da UTFPR – Pato Branco (PR), Brasil.

### Edilson da Silva Ferreira

Químico pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil. Mestre em Química pela UFSC – Florianópolis (SC), Brasil. Professor Titular da UTFPR – Pato Branco (PR), Brasil.

---

## Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade de remoção de íons cobre (II) de soluções aquosas sintéticas, através da bioissorção utilizando o fungo *Pleurotus ostreatus*. O fungo foi cultivado em meio mínimo e utilizado como bioissorvente seco. Utilizou-se um planejamento fatorial  $2^3$  com três repetições no ponto central para determinar a melhor condição de trabalho e esta correspondeu à menor concentração de bioissorvente e maior tempo de experimento, removendo 86,01% de íons cobre (II). Estudos cinéticos permitiram verificar o tempo máximo de bioissorção revelando que em cinco minutos a biomassa atingiu sua capacidade de saturação. O modelo de Langmuir foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais do bioissorvente *Pleurotus ostreatus*.

**Palavras-chave:** *Pleurotus ostreatus*; cobre (II); bioissorção.

## Abstract

The objective of this study was to evaluate the capacity to remove copper ions (II) from synthetic aqueous solutions through biosorption using the fungus *Pleurotus ostreatus*. The fungus was grown in minimal medium and used as biosorbent dry. It was used a factorial design  $2^3$  with three replicates at the central point to determine the best working condition and this corresponded to the lowest concentration of biosorbent and longer experiment, removing 86.01% of copper ions (II). Kinetic studies allowed to verify the maximum biosorption revealing that in five minutes biomass reached its saturation capacity. The Langmuir model was the best fit to the experimental data of biosorbent *Pleurotus ostreatus*.

**Keywords:** *Pleurotus ostreatus*; copper (II); biosorption.

## Introdução

A alta concentração de metais pesados introduzidos no meio ambiente é de extrema preocupação, pois estes são poluentes provenientes de diversas operações industriais que geram grandes quantidades de efluentes (BISHNOI & GARIMA, 2005; ROCHA; MARCATO; COSSICH, 2005). E muitas vezes as concentrações destes metais são superiores aos limites permitidos pela legislação, o que representa um perigo para o ambiente (FRANCISCHETTI, 2004).

O tratamento de metais pesados presentes em efluentes industriais é usualmente realizado por meio de processos físico-químicos (MOREIRA, 2010). Entretanto, alguns desses métodos apresentam desvantagens, como custo elevado, baixa remoção do metal e alta demanda de reagentes, e ainda podem ser ineficazes, especialmente quando se tratam de grandes volumes e baixas concentrações (PEREIRA, 2008; VAGHETTI, 2009; VIEIRA, 2009). Assim métodos alternativos que envolvem a adsorção vêm sendo desenvolvidos com o propósito de reduzir essa toxicidade (MIMURA *et al.*, 2010).

Alguns estudos realizados visando a bioadsorção de metais pesados pelo emprego de biomassas fúngicas têm demonstrado o potencial destes micro-organismos em relação à sua grande capacidade de remover metais tóxicos de efluentes industriais, baseado na ligação dos metais a diversos materiais biológicos através de vias metabólicas mediadas por interações físico-químicas, podendo ser usado em processos de tratamento de efluentes (JAVAID; BAJWA; JAVAID, 2010; MARANDI, 2011; PALLU, 2006).

Bioadsorção é um processo passivo, rápido, reversível e independente de energia metabólica quando realizado por biomassa morta, no qual as forças físico-químicas promovem a atração e a ligação do íon metálico, molécula ou material particulado à biomassa, através de diversos mecanismos (BRASIL *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2008; VOSS & THOMAS, 2001). Este processo baseia-se no desequilíbrio de forças superficiais através do contato de uma superfície sólida com uma fase líquida formando uma camada superficial de solutos no adsorbente, sendo resultado da acumulação de metais por interações físico-químicas de íons metálicos com compostos celulares das espécies biológicas (MORENO-CASTILLA; LÓPEZ-RAMÓN; CARRASCO-MARIN, 2000; SOUZA, 2004; THOMÉ, 2008).

Os mecanismos subjacentes à bioadsorção dependem de diversos fatores como a composição química da parede celular do adsorbente, as condições físico-químicas do meio externo e as propriedades químicas do metal (CRISPIM, 2009; MALKOC & NUHOGLU, 2006). O conhecimento da estrutura química dos adsorbentes é essencial para compreender o processo de bioadsorção e conhecer os sítios de ligação dos íons metálicos, e também quais tipos de ligações estão envolvidos no processo (GRAZZIOTTI *et al.*, 2001; LAKSHMARAJ *et al.*, 2009).

Esta técnica apresenta algumas vantagens em relação aos métodos convencionais devido ao baixo custo, capacidade de regeneração do adsorbente e possibilidade de recuperação do metal (GOKHALE; JYOTI; LELE, 2008; PÉREZ-MARIN *et al.*, 2009). Outra vantagem é que este tipo de tratamento promove a eliminação do poluente e não a sua simples mudança de fase (DAKIKY *et al.*, 2002; NIEBISCH, 2009).

Os fungos são micro-organismos que crescem facilmente e produzem elevada quantidade de biomassa. Além do mais, são considerados bons adsorbentes devido à composição química de suas paredes celulares, que são compostas por vários grupos químicos responsáveis por atrair e reter os metais na biomassa como acetamido da quitina, polissacarídeos estruturais de fungos, aminoácidos e grupos fosfato em ácidos nucleicos, amido, amino, grupos carboxila em proteínas, hidroxilas dos polissacarídeos entre outros, onde os metais ficam adsorvidos através de interações eletrostáticas (GUPTA & RASTOGI, 2009; MISHARA & DOBLE, 2008; QUINTELAS, 2007; RANJAN *et al.*, 2009).

A distribuição do íon metálico entre a fase líquida e a fase sólida envolve um equilíbrio de fases em consequência dos princípios da termodinâmica (KUMAR; BISHNOI; BISHNOI, 2008; PÉREZ-MARIN *et al.*, 2009). Para que possa ser feita análise quantitativa desse processo, esse equilíbrio de bioadsorção dos metais pode ser descrito por modelos de isotermas de adsorção (GUERRA *et al.*, 2007; MUNGASAVALLI; VIRARAGHAVAN; JIN, 2007). Estes modelos descrevem a quantidade de metal que é adsorvido por unidade de massa do adsorbente e a concentração do metal em solução no equilíbrio em uma determinada temperatura constante (MARANDI, 2011; PINO, 2005). Existem dois modelos amplamente aceitos, Langmuir e Freundlich, utilizados para a modelagem do equilíbrio de bioadsorção na presença de um metal (NASCIMENTO & FONTES, 2004; TAGLIAFERRO *et al.*, 2011).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de remoção de íons cobre (II) de soluções aquosas sintéticas através da bioadsorção utilizando o fungo *Pleurotus ostreatus*.

## Metodologia

### Micro-organismo e meio de crescimento

O micro-organismo utilizado foi *P. ostreatus*, cedido pela Embrapa Recursos genéticos e biotecnologia. Para os cultivos, as linhagens foram repicadas para placas de Petri, contendo meio BDA (batata, dextrose e ágar). As placas receberam aproximadamente 1 cm<sup>2</sup> do micélio do fungo e foram incubadas em estufa, à temperatura de 28°C por um período de 7 dias. Após a colonização de toda a superfície do meio pelo micélio fúngico, as placas foram

armazenadas em refrigerador a 4°C para uso posterior, de acordo com Silva Filho e Oliveira (2007).

## Condições de cultivo

O fungo *P. ostreatus* foi cultivado em fase líquida, em frascos Erlenmeyer contendo 0,3 L de meio mínimo preparado utilizando-se 10,0 g de glicose, 6,0 g de NaNO<sub>3</sub>, 1,5 g de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,5 g de KCl, 0,5 g de MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 0,001 de FeSO<sub>4</sub> e 0,001 de ZnSO<sub>4</sub> para 1 L de água destilada. O valor do pH foi ajustado para 5,5 utilizando-se soluções de HCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup> e NaOH 0,5 mol.L<sup>-1</sup>. O meio mínimo foi distribuído nos frascos e esterilizado em autoclave a 121°C (1 atm) por 30 minutos.

Foram inoculadas 7 unidades do fungo com aproximadamente 1 cm<sup>2</sup>, da região periférica da placa de Petri no meio mínimo em câmara de fluxo laminar. A incubação foi realizada, à temperatura ambiente, em incubadora Shaker SL 222 com agitação de 100 rpm, durante 14 dias.

## Preparação do biossorvente

A biomassa produzida do fungo *P. ostreatus* foi filtrada e lavada com água deionizada. Após a lavagem, a biomassa foi seca em estufa a temperatura de 105°C por 24 horas, moída em moinho Marconi MA 630 e utilizada como biossorvente para a realização dos testes.

## Solução sintética de cobre (II)

A solução sintética de cobre (II) foi preparada a partir do reagente sulfato de cobre (II) pentahidratado (CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O), marca Impex e pureza de 99%, com água destilada, nas devidas concentrações utilizadas de acordo com o experimento. O valor do pH foi ajustado utilizando-se soluções de HCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup> e NaOH 0,5 mol.L<sup>-1</sup>.

## Quantificação do íon

A quantificação dos íons de cobre II nas amostras foi determinada pelo método colorimétrico, utilizando-se como agente de complexação o reativo de neocuproína, de acordo com a NBR 3186/1989 (ABNT, 1989).

## Planejamento experimental

O processo de biossorção para o íon Cu (II) foi determinado por meio de planejamento experimental, fatorial 2<sup>3</sup> e 3 repetições no ponto central. As variáveis de entrada correspondem à quantidade de biossorvente (0,05–0,15 g), tempo de experimento (2–8 minutos) e pH (5,0–6,0). Os valores dos pontos

centrais foram 0,10 g para quantidade de biossorvente, 5 minutos para tempo de experimento e 5,5 para pH, como mostra a Tabela 1. Os demais parâmetros como temperatura, agitação e concentração inicial de íon metálico (10 mg.L<sup>-1</sup>) foram mantidos constantes, sendo realizado um total de 11 experimentos. A variável resposta para essa etapa foi a quantidade de íons Cu (II) adsorvidos.

A eficiência de biossorção de Cu (II) para cada experimento foi determinada pela Equação 1.

$$Ads = \frac{(C_i - C_t)}{C_i} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde,

C<sub>i</sub>: concentração inicial do íon na solução (mg.L<sup>-1</sup>);

C<sub>t</sub>: concentração final do íon na solução no tempo t (mg.L<sup>-1</sup>).

Todos os experimentos de biossorção foram realizados em frascos Erlenmeyer, contendo 25 mL de solução de Cu (II) e agitados em um shaker, à temperatura ambiente.

## Cinética

O estudo foi realizado utilizando 3 concentrações diferentes (3, 5 e 10 mg.L<sup>-1</sup>) do íon Cu (II). O procedimento foi conduzido em frascos Erlenmeyer contendo 25 mL da solução sintética de Cu (II) com 0,02 g de biomassa sob agitação. Em intervalos de 10 minutos, foram retiradas alíquotas para análise do teor de Cu (II) na solução até que o equilíbrio fosse atingido.

## Isotermas de equilíbrio

As isotermas foram determinadas pela adição de uma quantidade conhecida de biossorvente em 50 mL de solução contendo íons Cu (II). Este experimento foi realizado em diferentes concentrações de íons metálicos (3, 5, 7 e 10 mg.L<sup>-1</sup>). O tempo de equilíbrio foi obtido através dos resultados cinéticos.

Os resultados experimentais foram ajustados a modelos matemáticos Langmuir e Freundlich.

**Tabela 1** – Níveis e variáveis estudados no planejamento experimental fatorial 2<sup>3</sup>.

Níveis	-1	0	+1
pH	5,0	5,5	6,0
Massa (g)	0,05	0,10	0,15
Tempo (minutos)	2	5	8

O modelo de Langmuir é descrito de acordo com a Equação 2.

$$q_{eq} = \frac{(q_{max} K_L C_{eq})}{(1 + K_L C_{eq})} \quad (2)$$

Onde,

$q_{eq}$ : quantidade de soluto adsorvido no equilíbrio por unidade de massa de biossorvente ( $mg.g^{-1}$ );

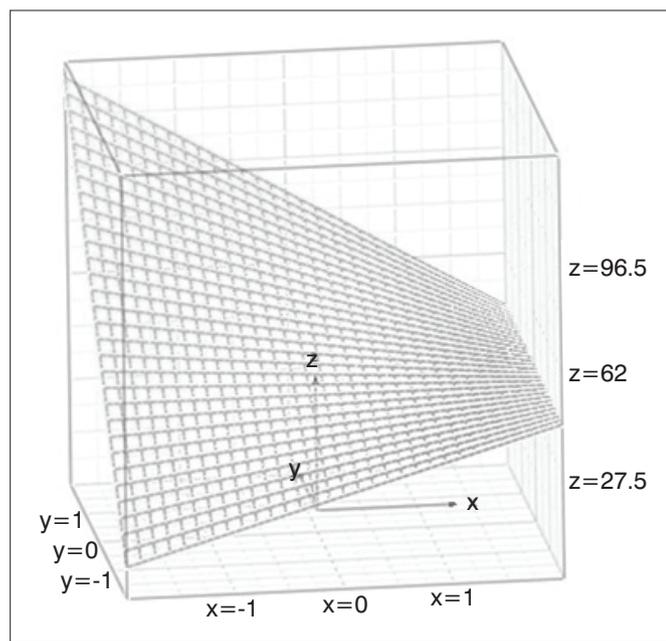
$q_{max}$ : quantidade máxima de soluto adsorvido por unidade de massa de adsorvente ( $mg.g^{-1}$ );

$K_L$ : constante de equilíbrio de Langmuir ( $L.g^{-1}$ );

$C_{eq}$ : concentração de equilíbrio do soluto na fase líquida ( $mg.L^{-1}$ ).

**Tabela 2** – Resultado do planejamento experimental  $2^3$  para otimização do processo de biossorção de cobre (II) por *Pleurotus ostreatus*.

Experimento	pH	Massa (g)	Tempo (minutos)	Remoção (%)
1	-	-	-	41,53
2	-	-	+	85,97
3	-	+	-	44,76
4	-	+	+	44,43
5	+	-	-	38,22
6	+	-	+	86,01
7	+	+	-	44,69
8	+	+	+	76,86
9	0	0	0	44,24
10	0	0	0	42,91
11	0	0	0	47,52



**Figura 1** – Superfície de resposta das melhores condições de trabalho, de acordo com o planejamento fatorial  $2^3$  para a variável remoção (%) de íons cobre (II) [eixo Z] – interação massa [eixo X] x tempo [eixo Y].

O modelo de Freundlich é descrito de acordo com a Equação 3.

$$q_e = K_F C_{eq}^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

Onde,

$q_e$ : quantidade de soluto adsorvido por unidade de massa de adsorvente ( $mg.g^{-1}$ );

$C_{eq}$ : concentração de equilíbrio do soluto na solução ( $mg.L^{-1}$ );

$K_F$ : constante que denota a capacidade de adsorção;

$n$ : constante que denota a intensidade de adsorção.

Se  $n$  for maior que 1, indica uma isotérmica favorável demonstrando que há uma elevada afinidade pela biomassa, mas se  $n$  for menor que 1, mostra que a isoterma é desfavorável.

## Resultados e Discussão

### Planejamento fatorial

Com o objetivo de verificar a influência dos parâmetros pH, quantidade de biossorvente e tempo, a fim de alcançar uma maior eficiência no processo de biossorção de Cu (II) por biomassa fúngica de *P. ostreatus* um planejamento fatorial foi utilizado para delinear as melhores condições de trabalho. Os resultados deste planejamento são apresentados na Tabela 2.

A condição otimizada neste processo corresponde à menor concentração de biossorvente (0,05 g) e maior tempo de experimento (8 minutos), removendo 86,01% de íons Cu (II). Dos três fatores aplicados no estudo do planejamento experimental, o tempo foi o parâmetro mais significativo sobre o processo de biossorção. A variação do pH inicial do meio não afetou significativamente, em um nível de confiança de 95%. A Figura 1 apresenta a superfície de resposta das melhores condições de otimização do planejamento experimental.

A Tabela 3 mostra a análise de regressão da superfície de resposta para biossorção de Cu (II). Observa-se que o tempo foi um fator significativo com probabilidade igual a 0,016 ( $p < 0,05$ ) para o processo de biossorção, estando dessa forma em um nível de confiança de 95%. Entretanto, os demais fatores, como pH e massa, não foram significativos nas condições utilizadas no presente trabalho, pois apresentaram probabilidade maior que 0,05. As interações entre os parâmetros (pH x massa, pH x tempo e massa x tempo) também tiveram probabilidade acima de 0,05, demonstrando que não foram significativos. O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) foi de 95%.

O modelo linear com um nível de confiança de 95%, obtido para a função de resposta de remoção (%), é representado pela Equação 4, em que os valores das variáveis. Esse modelo matemático para o sistema com as condições estudadas pode ser representado por um

modelo empírico, o qual estima a eficiência no processo de biossorção (%) para este estudo.

$$\% = 54,29 + 7,27x_A - 10,25x_B + 31,02x_C + 9,81x_Ax_B + 8,96x_Ax_C - 15,10x_Bx_C \quad (4)$$

Onde,

$x_A$ : pH;

$x_B$ : massa de biossorvente (g);

$x_C$ : tempo (minutos).

## Análise do estudo cinético

A biossorção do íon Cu (II), em relação ao tempo, em diferentes valores de concentração inicial do metal é mostrada na Figura 2.

A cinética de biossorção de Cu (II) ocorreu em duas fases: uma fase inicial onde a biossorção foi rápida contribuindo significativamente para a captação do íon metálico presente na solução atingindo o equilíbrio em cinco minutos e uma segunda fase, mais lenta, constante e pouco significativa.

Essa rápida biossorção nos primeiros tempos de contato entre o adsorbato e o biossorvente é explicada pela ligação do íon nos grupos funcionais da célula fúngica, que em segundo tempo ocorre apenas uma interação físico-química, o que mostra uma redução na capacidade de remoção.

Verificou-se, também, que após 5 minutos a biomassa atingiu 82,63, 75,45 e 52,46% da sua capacidade de saturação para as concentrações iniciais de íons metálicos de Cu (II) de 3, 5 e 10 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. A concentração de biossorvente utilizada foi de 0,8 g.L<sup>-1</sup>.

## Análise das isotermas de biossorção

O equilíbrio de biossorção dos íons metálicos de Cu (II) com a biomassa fúngica foi modelado utilizando as isotermas de adsorção. Os dados experimentais foram ajustados aos dois modelos de isotermas. A Tabela 4 mostra as constantes e os coeficientes de correlação para a biossorção de Cu (II) por *P. ostreatus*.

Observando-se os coeficientes de correlação (R<sup>2</sup>) de cada modelo — Langmuir (0,990) e Freundlich (0,984) — verifica-se que a biossorção de Cu (II) pela biomassa fúngica de *P. ostreatus* se ajustou melhor ao modelo de Langmuir, na concentração estudada. Outro fator verificado foi o valor de R<sub>L</sub>, fator de separação, que relaciona à qualidade da biossorção, em que para valores entre 0 e 1, indica que o modelo é favorável. O cálculo do parâmetro R<sub>L</sub> é feito através da Equação 5 (Porpino, 2009).

$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L C_e)} \quad (5)$$

Onde,

K<sub>L</sub>: constante de equilíbrio de Langmuir (L.g<sup>-1</sup>);

C<sub>e</sub>: concentração de soluto na solução no equilíbrio (mg.L<sup>-1</sup>).

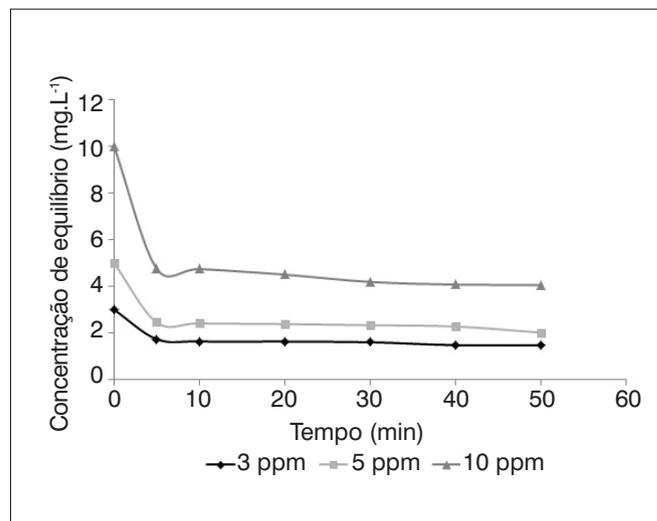
O valor de R<sub>L</sub> encontrado (0,022) indica, portanto, que o melhor modelo que se ajusta a biossorção estudada é o de Langmuir que se encontra entre os valores permitidos.

Os modelos também podem ser comparados através do valor da constante n do modelo de Freundlich. Se n for maior que 1,

**Tabela 3** – Análise de regressão da superfície de resposta para a biossorção de cobre (II) em biomassa fúngica de *Pleurotus ostreatus*.

Variáveis	SS	DF	MS	F	P
pH	105,7	1	105,7	0,877	0,401
Massa	209,9	1	209,9	1,743	0,257
Tempo	1924,0	1	1924,3	15,97	0,016
pH x massa	158,7	1	158,7	1,317	0,315
pH x tempo	160,7	1	160,7	1,334	0,312
Massa x tempo	456,0	1	456,0	3,785	0,123
Erros	481,8	4	120,4		
Total SS	3497,0	10			0,050

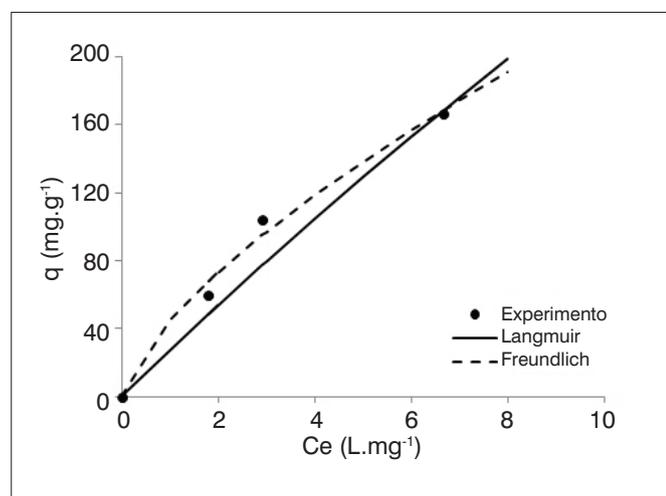
SS: soma dos quadrados; df: grau de liberdade; MS: média dos quadrados; F: fator de Student; P: probabilidade.



**Figura 2** – Cinética de biossorção de cobre (II) por *Pleurotus ostreatus*.

**Tabela 4** – Constantes dos modelos de isotermas e coeficientes de correlação para biossorção de cobre (II).

Langmuir			Freundlich		
Q (mg.g <sup>-1</sup> )	K <sub>L</sub> (L.mg <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	k	N	R <sup>2</sup>
380,30	0,119	0,990	45,42	-0,691	0,984



**Figura 3** – Isotermas de Langmuir e Freundlich para a biossorção de cobre (II) por *Pleurotus ostreatus*.

indica uma isotérmica favorável demonstrando que há uma elevada afinidade pela biomassa, do contrário a isoterma é desfavorável. No presente trabalho, o valor encontrado (-0,691) indica que os dados experimentais não se ajustam ao modelo de Freundlich.

A Figura 3 mostra o gráfico dos modelos de Langmuir e Freundlich para a biossorção de cobre em diferentes valores de concentração inicial de íon metálico. A saturação do biossorvente ocorreu quando a quantidade biossorvida do íon metálico atingiu 380,30 mg.g<sup>-1</sup>. A quantidade de biomassa utilizada no processo de biossorção foi de 20 mg e o tempo foi de 4 horas.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (1989) *NBR 3186: Águas minerais e de mesa – determinação de cobre*. Rio de Janeiro.
- BISHNOI, N.R. & GARIMA, A. (2005) Fungus – an alternative for bioremediation of heavy metal containing wastewater: a review. *Journal of Scientific & Industrial Research*, v. 64, n. 2, p. 93-100.
- BRASIL, J.L.; VAGHETTI, J.C.P.; ROYER, B.; SANTOS JR., A.A.; SIMON, N.M.; PAVAN, F.A.; DIAS, S.L.P.; LIMA, E.C. (2007) Planejamento estatístico de experimentos como uma ferramenta para otimização das condições de biossorção de Cu (II) em batelada utilizando-se casca de nozes pecã como biossorvente. *Química Nova*, v. 30, n. 3, p. 548-553.
- CRISPIM, S.C.L. *Remoção de Cálcio (II) em Solução Aquosa por Meio de Carvões Ativados Submetidos a Tratamentos Superficiais*. (2009). 136f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

Outros trabalhos foram realizados visando a biossorção de metais pesados por diversos adsorventes. Entre eles, Brasil *et al.* (2007) analisaram a biossorção de Cu (II) em cascas de nozes pecã e obtiveram valores de quantidade máxima adsorvida de íons em torno de 20 mg.g<sup>-1</sup>, utilizando 30 mg do biossorvente em um tempo de 2 horas. Mimura *et al.* (2010) encontraram valores ainda menores; adsorvendo íons de Cu (II) em casca de arroz, obtiveram valores de 5,32 mg.g<sup>-1</sup>, utilizando 0,5 g de biossorvente. Vaghetti (2009) utilizou 5 g.L<sup>-1</sup> de casca de noz para remoção de íons Cu (II) e obteve valores de 91,20 mg.g<sup>-1</sup>, em um tempo de 2 horas. Javaid, Bajwa e Javaid (2010) obtiveram valores de 4,54 mg.g<sup>-1</sup> utilizando o fungo *Schizophyllum commune* e Say, Denizili e Arica (2001) encontraram valores de 26,55 mg.g<sup>-1</sup> utilizando o fungo *Phanerochaete chrysosporium*.

## Conclusões

A biomassa fúngica de *Pleurotus ostreatus*, utilizada como biossorvente, foi capaz de remover íons metálicos de Cu (II) de soluções aquosas sintéticas. A condição otimizada neste processo corresponde à menor concentração de biossorvente e maior tempo de experimento, sendo o tempo o parâmetro mais significativo sobre o processo de biossorção, em um nível de confiança de 95%. A cinética de biossorção permitiu verificar que o tempo de equilíbrio de remoção do íon metálico da solução foi de 5 minutos, atingindo 82,63% da sua capacidade de saturação na concentração de 3 mg.L<sup>-1</sup>. A isoterma de Langmuir foi o melhor modelo ajustado aos dados experimentais, resultando em uma saturação máxima de 380,30 mg.g<sup>-1</sup> do íon metálico.

- DAKIKY, M.; KHAMIS, M.; MANASSRA, A.; MEREB, M. (2002) Selective adsorption of chromium(VI) in industrial wastewater using low-cost abundantly available adsorbents. *Advanced Environmental Research*, v. 6, n. 3, p. 533-540.

- FRANCISCHETTI, J. (2004) *Remoção de metais pesados em efluentes líquidos através da filtração adsorviva*. 91f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

- GOKHALE, S.V.; JYOTI, K.K.; LELE, S.S. (2008) Kinetic and equilibrium modeling of chromium(VI) biosorption on fresh and spent *Spirulina platensis/Chlorella vulgaris* biomass. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 9, p. 3600-3608.

- GRAZZIOTTI, P.H.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.; CARVALHO, D. (2001) Tolerância de fungos ectomicorrízicos a metais pesados em meio de cultura adicionado de solo contaminado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 839-848.

- GUERRA, D.L.; AIROLDI, C.; LEMOS, V.P.; ANGÉLICA, R.S.; VIANA, R.R. (2007) Aplicação de Al-PILC na adsorção de  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  e  $\text{Co}^{2+}$  utilizando modelos físico-químicos de adsorção. *Eclética Química*, v. 32, n. 3, p. 51-60.
- GUPTA, V.K. & RASTOGI, A. (2009) Biosorption of hexavalent chromium by raw and acid treated green alga *Oedogonium hatei* from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, v. 163, n. 1, p. 396-402.
- JAVOID, A.; BAJWA, R.; JAVOID, A. (2010) Biosorption of heavy metals using a dead macro fungus *Schizophyllum commune* fries: evaluation of equilibrium and kinetic models. *Pakistan Journal of Botany*, v. 42, n. 3, p. 2105-2118.
- KUMAR, R.; BISHNOI, N.R.; BISHNOI, K. (2008) Biosorption of chromium (VI) from aqueous solution and electroplating wastewater using fungal biomass. *Chemical Engineering Journal*, v. 135, n. 3, p. 202-208.
- LAKSHMARAJ, L.; GURUSAMY, A.; GOBINATH, M.B.; CHANDRAMOHAN, R. (2009) Studies on the biosorption of hexavalent chromium from aqueous solutions by using boiled mucilaginous seeds of *Ocimum americanum*. *Journal of Hazardous Materials*, v. 169, n. 1-3, p. 1141-1145.
- MALKOC, E. & NUHOGLU, Y. (2006) Removal of Ni (II) ions from aqueous solutions using waste of tea factory: adsorption on a fixed bed column. *Journal of Hazardous Materials*, v. B135, p. 328-336.
- MARANDI, R. (2011) Biosorption of hexavalent chromium from aqueous solution by dead fungal biomass of *Phanerochaete chrysosporium*: batch and fixed bed studies. *Canadian Journal on Chemical Engineering & Technology*, v. 2, n. 2, p. 8-22.
- MIMURA, A.M.S.; VIEIRA, T.V.A.; MARTELLI, P.B.; GORGULHO, H.F. (2010) Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$ . *Química Nova*, v. 33, n. 6, p. 1279-1284.
- MISHARA, S.H. & DOBLE, M. (2008) Novel chromium tolerant microorganisms: isolation, characterization and their biosorption capacity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 71, n. 3, p. 874-879.
- MOREIRA, D.R. *Desenvolvimento de adsorventes naturais para tratamento de efluentes de galvanoplastia*. Porto Alegre, p. 79, 2010. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
- MORENO-CASTILLA, C.; LÓPEZ-RAMÓN, V.M.; CARRASCO-MARIN, F. (2000) Changes in surface chemistry of activated carbons by wet oxidation. *Carbon*, v. 38, n. 14, p. 1995-2001.
- MUNGASAVALLI, D.P.; VIRARAGHAVAN, T.H.; JIN, Y.C. (2007) Biosorption of chromium of aqueous solution by pretreated *Aspergillus niger*: batch and column studies. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 301, n. 1-3, p. 214-223.
- NASCIMENTO, C.W.A. & FONTES, R.L.F. (2004) Correlação entre características de latossolos e parâmetros de equações de adsorção de cobre e zinco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 6, p. 965-971.
- NIEBISCH, C.H. (2009) *Biodegradação do corante têxtil remazol azul por *Lentinus crinitus*, *Lepista sordida* e *Hydnopolyporus fimbriatus**. 109f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- PALLU, A.P.S. (2006) *Biossorção de cádmio por linhagens de *Aspergillus* sp.* 70f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- PEREIRA, F.V. (2008) *Remoção de íons zinco (II) de efluentes derivados de processos de galvanoplastia utilizando rejeitos de fibras vegetais modificadas quimicamente*. 131f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- PÉREZ-MARIN, A.B.; AGUILAR, M.I.; MESEGUER, V.F.; ORTUÑO, J.F.; SAEZ, J.; LORENS, M. (2009) Biosorption of chromium (III) by orange (*Citrus cinensis*) waste: batch and continuous studies. *Chemical Engineering Journal*, v. 155, n. 1-2, p.199-206.
- PINO, G.A.H. (2005) *Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (*Cocos nucifera*)*. 113f. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- PORPINO, K.K.P. (2009) *Biossorção de ferro (II) por casca de caranguejo *Ucides cordatus**. 89f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- QUINTELAS, C.M.C. (2007) *Implementação e desenvolvimento de sistemas de biossorção para fixação de metais pesados*. 130f. Tese (Doutorado) – Universidade do Minho, Braga.
- RANJAN, D.; SRIVASTAVA, P.; TALAT, M.; HASAN, S.H. (2009) Biosorption of Cr (VI) from water using biomass of *Aeromonas hydrophila*: central composite design for optimization of process variables. *Applied Biochemical Biotechnology*, v. 158, p. 524- 539.
- ROCHA, E.R.L.; MARCATO, V.J.; COSSICH, E.S. (2005) Biossorção de cromo por biomassa de *Saccharomyces cerevisiae*. In: *VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica*, 5, Campinas, Anais... Campinas: UNICAMP, p. 5-10.
- SAY, R.; DENIZLI, A.; ARICA, M.Y. (2001) Biosorption of cadmium(II), lead(II) and copper(II) with the filamentous fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Bioresource Technology*, v. 76, p. 67-70.
- SILVA FILHO, G.N.; OLIVEIRA, V.L. (2007) *Microbiologia manual de aulas práticas*. Florianópolis: Editora UFSC.
- SOUZA, J.I.; SCHOENLEIN-CRUSIUS, I.H.; PIRES-ZOTTARELLI, C.L.A.; SCHOENLEIN, N.C. (2008) Biossorção de cobre, manganês e cádmio por biomassa de *Saprolegnia subterranea* (Dissmann) R.L. Seym. e *Pythium torulosum* Coker & P. Patt. (Oomycetes). *Acta Botanica Brasilica*, v. 22, n. 1, p. 217-223.
- SOUZA, P.M. (2004) *Caracterização bioquímica, fisiológica e ultraestrutural do processo de biossorção do cobre por *Cunninghamella Elegans* - Ucp 542*, 79f.. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

TAGLIAFERRO, G.V.; PEREIRA, P.H.F.; RODRIGUES, L.A.; SILVA, M.L.C.P. (2011) Adsorção de chumbo, cádmio e prata em óxido de nióbio (V) hidratado preparado pelo método da precipitação em solução homogênea. *Química Nova*, v. 34, n. 1, p. 101-105.

THOMÉ, L.C.P. (2008) *Bioacumulação de íons de Pb<sup>+2</sup> na macrófita Salvinia auriculata*. 110f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo.

VAGHETTI, J.C.P. (2009) *Utilização de biossorventes para remediação de efluentes aquosos contaminados com íons*

*metálicos*. 99f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VIEIRA, P.M.C. (2009) *Utilização de materiais de baixo custo (casca de camarão) para a remoção de cromo*. 92f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Tecnologia e de Gestão de Bragança, Bragança.

VOSS, M. & THOMAS, R.W.S.P. (2001) Sorção de cobre e manganês por bactérias rizosféricas do trigo. *Ciência Rural*, v. 31, n. 6, p. 947-951.