



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

## ESTUDO DA ADSORÇÃO SIMULTÂNEA DE COBRE, NÍQUEL E ZINCO POR VERMICOMPOSTO UTILIZANDO PLANEJAMENTO FATORIAL

Débora A. Moreira<sup>1</sup>, José Rodrigues de Souza<sup>2</sup>, Efraim Reis, Helder A Gariglio<sup>2</sup>; Cesar Reis<sup>3</sup>

### RESUMO

A redução significativa de íons metálicos no ambiente pode ocorrer mediante a utilização de substâncias húmicas, pois essas apresentam grande quantidade de sítios ativos disponíveis que interagem quimicamente com os metais. As substâncias húmicas, compostas pelos ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina, constituem-se de uma mistura complexa de compostos orgânicos, de alta massa molar, coloração castanho-escuro que podem ser obtidas de matéria orgânica (como esterco bovino, lixo urbano e industrial e solo). Neste trabalho foi proposto o uso de vermicomposto de esterco bovino como material adsorvente para remover Cu(II), Ni(II) e Zn(II). Os experimentos foram conduzidos em sistema em batelada. Estimou-se a capacidade máxima de adsorção do vermicomposto a 25 °C, através da isoterma de Langmuir. A ordem de adsorção dos metais estudados, foi Cu > Ni > Zn, mostrando a maior afinidade do vermicomposto pelo íon Cu(II). Avaliou-se o comportamento simultâneo dos três metais em relação à adsorção, através de um planejamento fatorial completo 2<sup>4</sup>, verificando-se que há competição entre os metais pelos sítios de adsorção do vermicomposto.

**Palavras-chave:** adsorção, isoterma de langmuir, metais pesados

### SIMULTANEOUS ADSORPTION STUDY OF COPPER, NIKEL AND ZINC BY VERMICOMPOST USING FACTORIAL PLANNING

### ABSTRACT

The significant reduction of free metallic ions in the atmosphere can happen by means of the use of humic substances, because those present great amount of available active ranches that interagem chemically with the metals. The humic substance composed by the humic acids, fulvic acid and humin, is constituted of a complex mixture, of having organic, of high mass molar, coloration chestnut tree-darkness that you/they can be obtained of organic matter (as bovine manure, I sand urban and industrial and soil). In this work, the use of bovine manure vermicompost material is proposed as adsorbent material to remove Cu(II), Ni(II) and Zn(II). The maximum of adsorption for the vermicompost was estimated in 25 °C, by Langmuir isotherm. The order of adsorption of the metals studied was Cu > Ni > Zn whereas the Cu(II), as an adsorbate, has shown the largest chemical affinity for the vermicompost. The simultaneous behavior of the three metal ions on adsorption was evaluated throughout a factorial planning 2<sup>4</sup>, which has revealed that a competition has taken place among the ions for the hollow space on the vermicompost surface.

**Key words:** adsorption, langmuir isotherm, heavy metal

Trabalho recebido em 04/08/2011 e aceito para publicação em 28/06//2012.

<sup>1</sup> Bacharel em Química, Pós-Doutora Eng. Agrícola, Profa UEMG - Unidade Ubá. e-mail

<sup>2</sup> Eng. Agrícola, Pós-Doutor Eng. Agrícola, Prof. IF Goiano - Campus Urutá. e-mail: jarstec@yahoo.com.br.

<sup>3</sup> Professor associado do Departamento de Química da UFV

## 1. INTRODUÇÃO

Com o rápido crescimento da população mundial e o conseqüente aumento na fabricação de produtos de primeira necessidade, a atividade industrial adquiriu um caráter essencial na sociedade contemporânea. Embora a sua importância seja indiscutível, a atividade industrial costuma ser responsabilizada pela poluição ambiental causada por metais pesados, devido a descarga de resíduos industriais sem nenhum tipo de tratamento. As principais fontes de poluição por metais pesados são provenientes das indústrias químicas, mineração e das lavouras (FREIRE et al., 2000; AGUIAR et al., 2002, RODRIGUES et al., 2006).

Em função desta situação, muitos estudos têm sido realizados buscando tecnologias capazes de minimizar o volume e a toxicidade dos efluentes industriais (FREIRE et al., 2000).

A remoção dos metais pesados presentes em efluentes industriais pode ser feita por meio de diversos processos, tais como: precipitação por via química, osmose reversa e adsorção em carvão ativado (AGUIAR et al., 2002).

A redução significativa de íons metálicos no ambiente pode ocorrer mediante a utilização de substâncias húmicas, pois essas apresentam grande quantidade de sítios ativos disponíveis que interagem quimicamente com os metais.

Essas substâncias são ricas em grupos funcionais com cargas negativas, tais como ácidos carboxílicos e hidroxilas fenólicas e alcoólicas, que são justamente os sítios, que podem adsorver os metais em solução.

As substâncias húmicas, compostas pelos ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina, constituem-se de uma mistura complexa de compostos orgânicos, de alta massa molar, coloração castanho-escuro que podem ser obtidas de matéria orgânica (como esterco bovino, lixo urbano e industrial e solo) (STEVENSON, 1994).

O vermicomposto de esterco bovino é capaz de adsorver os cátions metálicos. Nos efluentes as espécies químicas encontram-se misturadas, sendo necessários estudos em que se leva em consideração a adsorção simultânea de todas as espécies químicas que se quer abordar.

A utilização de vermicomposto, no tratamento de efluentes contendo metais é de grande interesse ambiental e econômico, quando comparada com tecnologias convencionais, resulta em opção de menor custo e poderá firmar como alternativa aos métodos convencionais (FIALHO, 2003; MATOS e ARRUDA, 2003).

Os processos de reações superficiais neste sistema têm sido estudados por meio de modelos matemáticos que procuram descrever o fenômeno da adsorção destes

metais. Tais modelos permitem obter com relativa precisão, a capacidade máxima de adsorção, entretanto, não é possível obter informações sobre o mecanismo cinético que rege tais reações. Vários modelos têm sido utilizados possibilitando o melhor entendimento dos fenômenos que contribuem para a retenção de metais pesados em vermicomposto. Os três modelos de adsorção freqüentemente adotados são os de Langmuir, Freundlich e Temkin. A isoterma de Langmuir tem maior vantagem sobre outras isotermas, por possibilitar estimar a capacidade máxima de adsorção e a constante relacionada com a energia de ligação (CIOLA, 1981; REIS, 1992).

Assim, neste estudo, objetivou-se estudar a adsorção simultânea de cobre(II), níquel(II) e zinco(II) por vermicomposto utilizando planejamento fatorial 2<sup>4</sup>.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no laboratório de Instrumentação e

Quimiometria, do Departamento de Química da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa - Minas Gerais.

Transferiu-se 0,5000 g da amostra de vermicomposto, para tubos de centrífuga de 50 mL, adicionaram-se a cada tubo 20,0 mL das soluções de KCl 0,02 mol L<sup>-1</sup>, contendo Cu(II) em diferentes concentrações e pH 4,5 ± 0,2 (Tabela 1). As misturas foram agitadas em banho termostático a 25 °C, por 24 horas, centrifugadas a 1258 g (FRC), por 15 min e filtradas em papel de filtro quantitativo para separar o sobrenadante. As concentrações dos íons metálicos foram determinadas no sobrenadante e as quantidades adsorvidas foram calculadas pela diferença entre a concentração inicial e a determinada na solução de equilíbrio (filtrado). O mesmo procedimento foi realizado para Ni(II) e Zn(II).

**Tabela 1:** Soluções individuais, com concentrações crescentes dos íons Cu(II), Ni(II) e Zn(II), em KCl 0,02 mol L<sup>-1</sup>, empregadas para obtenção da isoterma de Langmuir

Metal	Concentração mmol L <sup>-1</sup>											
	0,94	1,9	2,8	3,8	4,7	6,3	7,9	9,4	11,0	12,6	15,7	
Cu(II)	0,94	1,9	2,8	3,8	4,7	6,3	7,9	9,4	11,0	12,6	15,7	
Ni(II)	1,0	2,0	3,1	4,1	5,1	6,8	8,5	10,2	11,9	13,6	17,0	
Zn(II)	0,92	1,8	2,8	3,7	4,6	6,1	7,7	9,2	10,7	12,2	15,3	

Estabelecida a capacidade máxima de adsorção do vermicomposto para cada metal (cobre, níquel e zinco), foi realizado um planejamento fatorial completo  $2^4$  para estudar o comportamento simultâneo dos três metais em relação a adsorção. Esse planejamento teve como variáveis as concentrações dos íons metálicos Cu(II), Ni(II) e Zn(II) e massa de vermicomposto

em dois níveis (BARROS NETO et al., 2002). Transferiram-se as massas de vermicomposto, em dois níveis, para tubos de ensaio perfazendo um total de 32 tubos (2 repetições), adicionaram-se 20 mL da solução contendo íons Cu(II), Ni(II) e Zn(II) em KCl  $0,02 \text{ mol L}^{-1}$ , obedecendo os níveis do planejamento (Tabela 2).

**Tabela 2:** Planejamento fatorial completo  $2^4$

Ensaio	Variáveis codificadas				Variáveis originais			
	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Cu(II)	Ni(II)	Zn(II)	Massa*
					mg L <sup>-1</sup>			g
1	-	-	-	-	450,0	500,0	400,0	0,5000
2	+	-	-	-	800,0	500,0	400,0	0,5000
3	-	+	-	-	450,0	900,0	400,0	0,5000
4	+	+	-	-	800,0	900,0	400,0	0,5000
5	-	-	+	-	450,0	500,0	1000,0	0,5000
6	+	-	+	-	800,0	500,0	1000,0	0,5000
7	-	+	+	-	450,0	900,0	1000,0	0,5000
8	+	+	+	-	800,0	900,0	1000,0	0,5000
9	-	-	-	+	450,0	500,0	400,0	1,5000
10	+	-	-	+	800,0	500,0	400,0	1,5000
11	-	+	-	+	450,0	900,0	400,0	1,5000
12	+	+	-	+	800,0	900,0	400,0	1,5000
13	-	-	+	+	450,0	500,0	1000,0	1,5000
14	+	-	+	+	800,0	500,0	1000,0	1,5000
15	-	+	+	+	450,0	900,0	1000,0	1,5000
16	+	+	+	+	800,0	900,0	1000,0	1,5000

\* Massa do vermicomposto

Z <sub>1</sub> = Cu(II)	nível (-) = 450,0 mg L <sup>-1</sup>	nível (+) = 800,0 mg L <sup>-1</sup>
Z <sub>2</sub> = Ni(II)	nível (-) = 500,0 mg L <sup>-1</sup>	nível (+) = 900,0 mg L <sup>-1</sup>
Z <sub>3</sub> = Zn(II)	nível (-) = 400,0 mg L <sup>-1</sup>	nível (+) = 1000,0 mg L <sup>-1</sup>
Z <sub>4</sub> = Massa	nível (-) = 0,5000 g	nível (+) = 1,5000 g

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para calcular a capacidade máxima de adsorção para cada metal foi utilizada a Equação de Langmuir (1). A teoria de Langmuir baseia-se na hipótese da adsorção ocorrer em sítios uniformes com recobrimento em monocamadas e afinidade iônica independente da quantidade de material adsorvido (CIOLA, 1981).

$$\theta = \frac{\theta_m K C_{eq.}}{(1 + K C_{eq.})}$$

(1)

$C_{eq.}$  = concentração do íon na solução (mmol L<sup>-1</sup>):

$\theta$  = quantidade adsorvida (mmol kg<sup>-1</sup>);

$\theta_m$  = adsorção máxima (mmol kg<sup>-1</sup>); e

$K$  = coeficiente relacionado à energia de ligação (L mmol<sup>-1</sup>)

As isotermas, na forma hiperbólica (Figura 1), foram ajustadas aos dados experimentais utilizando um programa de regressão não linear, que permite estimar os parâmetros relativos à adsorção (Tabela 3). Os coeficientes de determinação obtidos para os ajustes das equações de Langmuir,  $R^2$ , foram em torno de 0,97. Com base nos valores dos coeficientes, pode-se concluir que a equação de Langmuir ajustada descreve bem o fenômeno de adsorção dos íons cobre, níquel e zinco no vermicomposto. A capacidade máxima de adsorção ( $\theta_m$ ) e o coeficiente ( $K$ ), da isoterma de Langmuir, foram 271,1; 241,6; 204,2 (mmol kg<sup>-1</sup>) e 1,21; 0,70 e 1,25 (L mmol<sup>-1</sup>) para o Cu(II), o Ni(II) e o Zn(II) respectivamente.

**Tabela 3.** Parâmetros de equação de Langmuir para adsorção de Cu(II), Ni(II) e Zn(II) no vermicomposto

	$K^*$	$\theta_m^{**}$	$R^2$
Cu(II)	1,21 ± 0,16	271,1 ± 2,9	0,97
Ni(II)	0,70 ± 0,07	241,6 ± 28,7	0,98
Zn(II)	1,25 ± 0,13	202,6 ± 28,5	0,98

\* (L mmol<sup>-1</sup>), \*\* (mmol kg<sup>-1</sup>)

A afinidade do material por determinados metais pode ser explicada

devido aos seus raios iônicos. Segundo MATOS e ARRUDA (2003) os íons com

maiores raios iônicos e conseqüentemente menor raio hidratado são preferencialmente adsorvidos, sempre quando presentes isoladamente em solução. Os íons de menor raio iônico, ou seja, maior raio hidratado interagem com moléculas de água sendo menos adsorvidos. No presente estudo, a ordem da capacidade máxima de adsorção encontrada coincide com a ordem dos tamanhos dos raios iônicos. Dentre os metais estudados, o Cu(II) apresenta o maior raio iônico (87 pm) e por isso, foi o metal que apresentou a maior capacidade de adsorção. Segundo SOARES et al. (2004), o ácido húmico apresenta forte interação com Cu(II), o que facilita a adsorção.

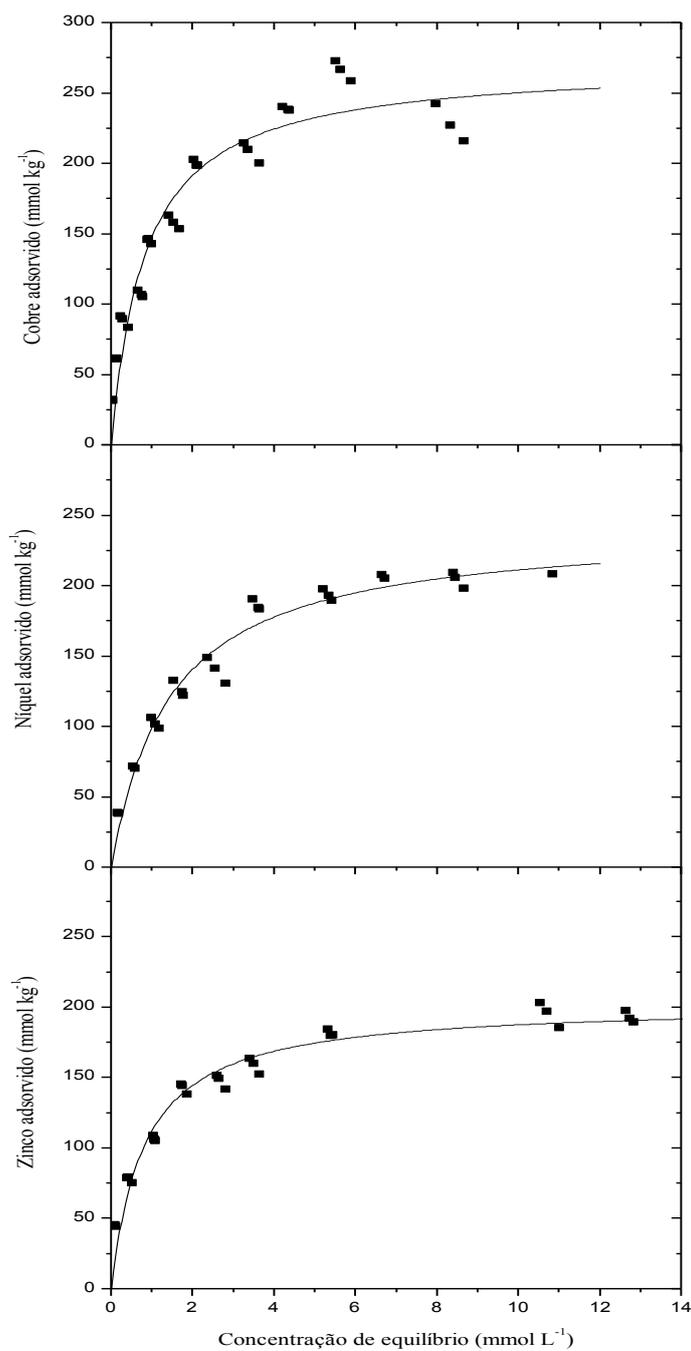
O vermicomposto possui grupos funcionais capazes de adsorver cátions metálicos, como Cu(II), Ni(II) e Zn(II). A capacidade de adsorção pode ser atribuída, principalmente, a dois fenômenos: adsorção específica e não específica.

RASHID (1974) estudou a adsorção de metais em turfa. A ordem observada de adsorção foi  $Cu > Ni > Co > Zn > Mn$ , sendo que na presença desses metais, o

cobre foi preferencialmente adsorvido, utilizando cerca de 50% da capacidade total de adsorção da turfa.

Nas Tabelas 4, 5 e 6 são apresentados os efeitos principais e de interação das variáveis Cu, Ni, Zn e massa em relação à adsorção de cobre(II), níquel(II) e zinco(II), respectivamente. Os efeitos destacados em negrito são significativos a um nível  $\alpha 0,05$ .

A adsorção de cobre(II) (Tabela 4) sofre interferência significativa do níquel e do zinco, causando dessorção do cobre por competição. Quando o experimento é realizado utilizando uma massa maior de vermicomposto, ou seja mais sítios adsorvidos, o cobre é menos adsorvido por unidade de massa, sendo os outros metais também adsorvidos. Ao aumentar a massa, a quantidade de cobre em solução não é suficiente para saturar os sítios de adsorção do vermicomposto. O efeito de interação entre o níquel e a massa também foi significativo, mostrando que quando aumentamos a concentração de níquel e utilizamos uma massa maior a adsorção do cobre aumenta.



**Figura 1.** Isothermas de Langmuir, obtidas a partir do ajuste das equações de adsorção aos dados obtidos experimentalmente para valores de cobre (II), níquel (II) e zinco (II) na solução.

**Tabela 4** - Efeitos das variáveis Cu(II), Ni(II), Zn(II) e massa de vermicomposto na adsorção de Cobre(II)

	Efeitos	Teste-t
<b>Média</b>	<b>11,53 ± 0,0469</b>	<b>245,63</b>
<b>Cu</b>	<b>4,129 ± 0,0939</b>	<b>43,98</b>
<b>Ni</b>	<b>-0,2755 ± 0,0939</b>	<b>-2,934</b>
<b>Zn</b>	<b>-0,1984 ± 0,0939</b>	<b>-2,113</b>
<b>Massa</b>	<b>-7,560 ± 0,0939</b>	<b>-80,52</b>
CuxNi	-0,1217 ± 0,0939	-1,296
CuxZn	0,1430 ± 0,0939	1,523
CuxMassa	-0,0884 ± 0,0939	-0,9416
NixZn	0,1014 ± 0,0939	1,080
<b>NixMassa</b>	<b>0,3641 ± 0,0939</b>	<b>3,879</b>
ZnxMassa	0,1753 ± 0,0939	1,867

A adsorção do níquel(II) (Tabela 5) é influenciada negativamente pelo cobre, possivelmente o cobre está deslocando o níquel dos sítios de adsorção do vermicomposto. Mas não sofre interferência significativa do zinco. O cobre apresenta maior capacidade de adsorção em relação ao níquel. A adsorção do níquel é influenciada positivamente pelo aumento da massa, ou seja, nestas condições ocorre aumento nos sítios adsorptivos, aumentando a quantidade adsorvida. O efeito de interação entre o Ni

e o Zn foi significativo e positivo, mostrando que em níveis mais altos de Zn, o níquel é mais adsorvido. O efeito de interação entre o Ni e a massa foi significativo e positivo, confirmando que para maior quantidade de vermicomposto, a quantidade adsorvida aumenta. O efeito de interação entre o cobre e a massa também foi significativo, mostrando que quando aumentamos a concentração de cobre e utilizamos uma massa maior a adsorção do níquel aumenta.

**Tabela 5** - Efeitos das variáveis Cu(II), Ni(II), Zn(II) e massa de vermicomposto na adsorção de Níquel(II)

	Efeitos	Teste-t
<b>Média</b>	<b>5,344 ± 0,0734</b>	<b>72,78</b>
<b>Cu</b>	<b>-0,7475 ± 0,1469</b>	<b>-5,090</b>
<b>Ni</b>	<b>3,126 ± 0,1469</b>	<b>21,28</b>
<b>Zn</b>	<b>-0,2883 ± 0,1469</b>	<b>-1,963</b>

Continua tabela 5

	Efeitos	Test-t
<b>Massa</b>	<b>4,328 ± 0,1469</b>	<b>29,47</b>
NixCu	-0,0850 ± 0,1469	-0,5784
<b>NixZn</b>	<b>0,3834 ± 0,1469</b>	<b>2,610</b>
<b>NixMassa</b>	<b>0,6116 ± 0,1469</b>	<b>4,164</b>
CuxZn	0,0722 ± 0,1469	0,4916
<b>CuxMassa</b>	<b>1,870 ± 0,1469</b>	<b>12,73</b>
ZnxMassa	0,0739 ± 0,1469	0,5033

A adsorção do zinco(II) (Tabela 6) sofre interferência significativa do cobre, causando dessorção do zinco por competição.

**Tabela 6** - Efeitos das variáveis Cu(II), Ni(II), Zn(II) e massa de vermicomposto na adsorção de Zinco(II)

	Efeitos	Teste-t
<b>Média</b>	<b>6,275 ± 0,1014</b>	<b>61,89</b>
<b>Cu</b>	<b>-0,4663 ± 0,2028</b>	<b>-2,299</b>
Ni	-0,0901 ± 0,2028	-0,4444
<b>Zn</b>	<b>3,871 ± 0,2028</b>	<b>19,09</b>
<b>Massa</b>	<b>0,5098 ± 0,2028</b>	<b>2,514</b>
ZnxCu	0,1518 ± 0,2028	0,7485
<b>ZnxNi</b>	<b>-0,5894 ± 0,2028</b>	<b>-2,906</b>
ZnxMassa	0,1854 ± 0,2028	0,9144
CuxNi	-0,2132 ± 0,2028	-1,051
CuxMassa	0,0410 ± 0,2028	0,2024
<b>NixMassa</b>	<b>1,380 ± 0,2028</b>	<b>6,806</b>

Ao aumentar a massa verifica-se uma maior adsorção de zinco. O efeito de interação entre o Ni e o Zn foi significativo e negativo indicando que o Zn atua desorvendo mais quando o Ni encontra-se em concentrações menores. O efeito da interação entre o Ni e a massa foi significativo, confirmando que para maior quantidade de vermicomposto, a quantidade adsorvida aumenta. Este experimento mostra que estas interações e outras que desconhecemos acontecem nos sistemas naturais onde as espécies químicas encontram-se misturadas, sendo necessários estudos em que se leva em consideração a presença simultânea de todas as espécies químicas que queremos abordar.

#### 4. CONCLUSÕES

O sistema de tratamento estudado foi eficiente para águas eutrofizadas com microalgas, cianobactérias e saxitoxinas. Também vantajoso quanto aos serviços operacionais, tendo em vista que diminuiu sensivelmente as lavagens de filtro, resultando em uma maior produção efetiva de água.

A remoção na concentração de clorofila *a* e células de cianobactérias na pesquisa foi elevada. Contudo, apesar da boa eficiência ocorre ainda transpasse de células de cianobactérias.

Para esse sistema foi analisado a saxitoxina total e essa apresentou baixa concentração na água tratada, na ordem de 0,3 µg/L; também não ocorreu o aumento de toxinas por lise celular, tendo em vista que não houve o aumento na concentração de saxitoxinas.

#### 5. REFERÊNCIAS

- AOAC – Association of Official Analytical Chemists - Official Method 2005.06. Paralytic Shellfish Poisoning Toxins in Shellfish - Prechromatographic Oxidation and Liquid Chromatography with Fluorescence Detection. **First Action**, 2005.
- BRUCHET, A.; BERNAZEAU, F.; BAUDIN, I.; PIERONNE, P. Algal toxins in surface waters: analysis and treatment. **Water Supply**, v. 16, n. 1-2, p. 619 – 23, 1998.
- DAAMEN, E.J., WOUTERS, J.W., SAVELKOUL, J.T.G. Side stream biofiltration for improved biofouling control in cooling water systems. **Water Science and Technology**, v. 41, n. 4-5, p. 445-451, 2000.
- DI BERNARDO, L.; SENS, M. L.; KURODA, E. K.; DALSSASSO, R. L.; MELO FILHO, L. C.; MONDARDO, R. I.; DANTAS, A. D. B. **Filtração Direta**. In: PÁDUA, V. L. de (Coord.) Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro: ABES, 2006. Cap. 7, p. 275-334.
- DUYVESTEIJN, C.P.T.M. Water re-use in an oil refinery. **Desalination**, v. 119, n. 1-3, p. 357-358, 1998.
- FALCONER, I. R.; RUNNEGAR, M. T. C.; BUCKLEY, T.; HUYN, V. L.;

- BRADSAW, P. Using activated carbon to remove toxicity from drinking water containing cyanobacteria blooms. **Journal of the AWWA**, v. 81, n. 2, p. 102-105, 1989.
- FREED JR, A. J.; GUTIERREZ, M. A.; WESSELS, C. CBFs aid nutrient removal. **Water and Wastewater International**, v. 22, n. 2, p. 12-13, 2007.
- HASLE, G. R. The inverted microscope. In: SOURNIA, A. (Coord.) *Phytoplankton manual*. Paris: UNESCO-Monographs on oceanographic methodology, 1978. Cap. 6, p. 88-96.
- HIMBERG, K.; KEIJOLA, A. M.; HIISVIRTA, L. The effect of water treatment processes on the removal of hepatotoxins from *Microcystis* and *Oscillatoria* cyanobacteria: A laboratory study. **Water Research**, v. 23, n. 8, p. 979 – 984, 1989.
- JANSSENS, J.G.; MUS, I.; DELIRE, C. Special subject 11 – Practice of rapid filtration. In: *PROCEEDINGS OF THE IWSA CONGRESS*, 1998. Rio de Janeiro, Brasil.
- KRAMER, J.P.; WOUTERS, J.W.; NOORDINK, M.P.M.; ANINK, D.M.E.; JANUS, J.M. Dynamic denitrification of 3,600 m<sup>3</sup>/h sewage effluent by moving bed biofiltration. *Water Science and Technology*, v. 41, n. 4-5, p. 29-33, 2000.
- LAM, A. K. Y.; PREPAS, E. E.; SPINK, D.; HRUDEY, S. E. Chemical control of hepatotoxic phytoplankton blooms: Implications for human health. **Water Research**, v. 29, n. 8, p. 1845 – 1854, 1995.
- MELO FILHO, L. C. Avaliação da Ozonização como pré ou pós-tratamento à Filtração Direta Descendente na Remoção de Cianobactérias e Saxitoxinas. 2006. 268 f. **Tese** (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- MONDARDO, R. I. Avaliação da Filtração em Margem como pré-tratamento à Filtração Direta Descendente na Remoção de Células de Cianobactérias e Saxitoxinas. 2009. 308 f. **Tese** (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- MONDARDO, R. I. Influência da Pré-oxidação na Tratabilidade das Águas via Filtração Direta Descendente em Manancial com Elevadas Concentrações de Microalgas e Cianobactérias. 2004. 147 f. **Dissertação** (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- MOUCHET, P.; BONNÉLYE, V. Solving algae problems: French expertise and world-wide applications. **J. Water SRT, Aqua**, v. 47, p. 125-141, 1998.
- NAGAVI, B.; MALONE, R. F. Algae removal by fine sand/silt filtration. *Water Research*, v. 20, n. 3, p. 377 – 83, 1986.
- NUSCH, E. A. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. **Arch. Hydrobiol. Beih. Stuttgart**, v. 14, p. 14-36, 1980.
- PERNFUß, B.; EBNER, C.; PÜMPEL, T.; DIELS, L.; MACASKIE, L.; TSEZOS, M.; KESZTHELYI, Z.; GLOMBITZA, F. The 'behaviour' of five metal biosorbing and bioprecipitating bacterial strains, inoculated in a moving-bed sand filter. **Process Metallurgy**, v. 9, n. C, p. 373-382, 1999.
- PÜMPEL, T.; EBNER, C.; PERNFUß, B.; SCHINNER, F.; DIELS, L.; KESZTHELYI, Z.; STANKOVIC, A.; WOUTERS, H. Treatment of rinsing water from electroless nickel

- plating with a biologically active moving-bed sand filter. **Hydrometallurgy**, v. 59, n. 2-3, p. 383-393, 2001.
- PÜMPEL, T.; EBNER, C.; PERNFUß, B.; SCHINNER, F.; DIELS, L.; KESZTHELYI, Z.; STANKOVIC, A.; WOUTERS, H. Removal of nickel from plating rinsing water with a moving-bed sand filter inoculated with metal sorbing and precipitating bacteria. **Process Metallurgy**, v. 9, n. C, p. 383-392, 1999.
- REALI, M. A. P.; GIANOTTI, E. P. Remoção de algas por flotação: testes de laboratório. In: 17 ° CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2., 1993, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1993. p. 229 – 242.
- SENS, M. L.; DALSSASSO, R. L.; MONDARDO, R. I.; MELO FILHO, L. C. Filtração em Margem. In: PÁDUA, V. L. de (Coord.) Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro: **ABES**, 2006. Cap. 5, p. 173-236
- SIN, G.; WEIJMA, J.; SPANJERS, H.; NOPENS, I. Dynamic model development and validation for a nitrifying moving bed biofilter: Effect of temperature and influent load on the performance. **Process Biochemistry**, v. 43, n. 4, p. 384-397, 2008.
- SPAANS, P.H.; VAN ROY, S.; HOOYBERGHS, L.; WINTERS, J.; MACASKIE, L.; FINLAY, J.; PÜMPEL, T.; DIELS, L. Heavy metals removal from waste water by moving bed sand filters inoculated with heavy metal adsorbing or precipitating micro-organisms. Proceedings of the TMS Fall Extraction and Processing Conference 3, p. 2337-2345, 1999.
- TEIXEIRA, M.G.L.C.; COSTA, M.C.N.; CARVALHO, V.L.P.; PEREIRA, M.S. E HAGE, E. Gastroenteritis epidemic in the area of the Itaparica, Bahia, Brazil. **Bulletin of PAHO**, v. 27, n. 3, p. 244-253, 1993.
- WOUTERS, J.W.; DE BEEN, P. Delfland facility reports 98% denitrification efficiency. **Water and Wastewater International**, v. 19, n. 2, p. 41, 2004.
- YUAN, M.; CARMICHAEL, W. W.; HILBORN, E. D. Microcystin Analysis in Human sera and Liver from Human Fatalities in Caruaru, Brazil 1996. **Toxicon**, v. 48, p. 627-640, 2006.