

REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS UTILIZANDO FILTRO DE LAVAGEM CONTÍNUA

Bianca Coelho Machado, Maurício Luiz Sens*

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina, 88040-900, Florianópolis, Brasil.

*E-mail: mls@ens.ufsc.br

Recebido em 12 de junho de 2011.

Aceito em 30 de junho de 2011.

RESUMO

Visando a remoção de cianobactérias, a presente pesquisa utilizou a dupla filtração direta ascendente como sistema de tratamento de água de abastecimento (filtro de lavagem contínua e filtro ascendente convencional), com taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 (\text{m}^2 \text{ d})^{-1}$ em ambos os filtros. O tratamento testado foi o seguinte: adição de coagulante na entrada de ambos os filtros. Os parâmetros avaliados foram: turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido (COD), absorvância 254 nm, clorofila *a*, densidade de cianobactérias e perda de carga. O sistema de dupla filtração se mostrou eficiente para a remoção de cianobactérias e vantajoso quanto aos serviços operacionais, tendo em vista que diminui as lavagens do segundo filtro, permitindo obter carreira de filtração de até 293 h e um grande aumento na produção efetiva de água.

Palavras-chave: Potabilização de água. Dupla filtração ascendente. Filtro de lavagem contínua. Cianobactérias.

1 Introdução

Muitos mananciais utilizados para abastecimento de água apresentam contaminação com cianobactérias, podendo causar diversas enfermidades à população que faz uso destes. A grande maioria das estações de tratamento de água não está preparada para a remoção de cianobactérias e toxinas, operando com dificuldades quando a concentração é elevada, reduzindo sensivelmente a produção efetiva de água.

A remoção de cianobactérias em tratamento de água de abastecimento tem sido tema de muitos estudos. Internacionalmente, inúmeros autores pesquisaram a remoção de cianobactérias [1-10].

No Brasil também se estudou a remoção de cianobactérias e cianotoxinas, principalmente pela rede de pesquisa em saneamento básico – PROSAB (PROSAB 4 e 5 – Tema 1). Filtração em margem [11], filtração lenta [12], filtração direta [13-14], separação por membranas [15], oxidação [16] e adsorção em carvão ativado [17] são exemplos de processos e sistemas estudados no PROSAB.

Esta pesquisa aplicou um sistema de tratamento por filtração direta com dupla filtração de escoamento ascendente, sendo o primeiro filtro de lavagem contínua, para remoção de cianobactérias. Para tanto, utilizou-se como manancial a Lagoa do Peri, situada no município de Florianópolis, Brasil, com predominância da espécie *Cylindropemopsis raciborskii* [18-20].

Em relação à remoção de cianobactérias no manancial da Lagoa do Peri, Mondardo [21] e Melo Filho [19] utilizaram a pré e/ou pós-oxidação com filtração direta em apenas um estágio de filtração; porém, houve grande transpasse de células pelo

filtro. Sens e colaboradores [11] e Mondardo [20] avaliaram a utilização de filtração em margem com o mesmo objetivo.

Freed e colaboradores [22] citam a utilização de filtro de lavagem contínua como uma alternativa para remoção de sólidos e de nitrato, este último por meio de conversão a gás nitrogênio. Além disso, Sin e colaboradores [23] afirmam que esse tipo de filtro tem sido aplicado com sucesso em escala real para tratamento terciário tanto em estações de tratamento de efluentes domésticos quanto industriais. O filtro de lavagem contínua também tem sido utilizado objetivando a remoção de metais pesados [24-27] e nutrientes de águas residuárias [28-30], bem como no pré-tratamento para unidade de ultrafiltração em refinaria de petróleo, objetivando a reutilização dessa água [31]. No Brasil, o filtro de lavagem contínua tem sido utilizado também para tratamento de água de abastecimento, principalmente na Região Sul, objetivando a remoção de cor, turbidez e sólidos suspensos.

Alguns estudos foram encontrados na literatura a respeito de remoção de cianobactérias no tratamento de água de abastecimento utilizando filtração ascendente ou dupla filtração convencional [1-17]. Contudo, nenhum artigo que associe remoção de cianobactérias com dupla filtração ascendente, sendo o primeiro filtro de lavagem contínua, foi encontrado.

2 Parte Experimental

Os estudos foram conduzidos na unidade experimental da Lagoa do Peri, do Laboratório de Potabilização de Águas da UFSC. A Figura 1 apresenta o fluxograma do sistema de tratamento, onde foram aplicadas duas vezes a coagulação, a primeira precedendo a filtração de lavagem contínua e a segunda antes da filtração ascendente convencional.

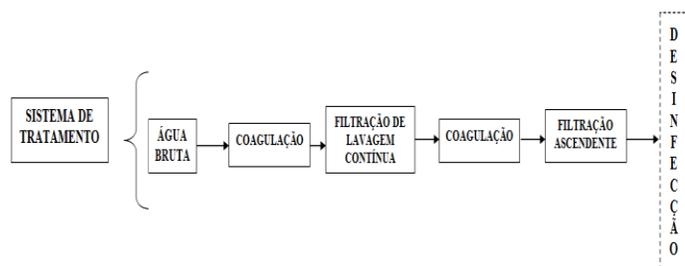


Figura 1: Fluxograma do sistema de tratamento estudado.

As amostras coletadas foram as seguintes: água bruta (AB), efluente do filtro de lavagem contínua (FLC) e efluente do filtro ascendente (FA), sendo acompanhadas também a perda de carga e a duração da carreira de filtração. O desempenho do sistema de tratamento foi monitorado pelos parâmetros cor aparente, cor verdadeira, turbidez, carbono orgânico dissolvido e absorção de radiação UV em 254 nm [32], Clorofila *a* [33] e contagem de cianobactérias [34].

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SPSS 17.0. A normalidade dos dados foi testada por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov, para definir que tipo de teste estatístico seria mais apropriado para fazer a comparação das médias. Os testes para comparação de médias utilizados foram o teste *t* pareado para os dados paramétricos e o teste dos postos com sinais de Wilcoxon para os dados não paramétricos.

Para definir qual teste estatístico seria utilizado fez-se necessário verificar qual o tipo de distribuição de probabilidade a amostra possui. Sendo assim, foi realizado um teste de normalidade com os dados (Teste de normalidade de Shapiro-Wilk para as variáveis com menos de 50 registros e Teste de Kolmogorov-Smirnov para as variáveis com mais de 50 registros).

2.1 Sistema piloto de dupla filtração

Durante o experimento, a água bruta foi captada de forma contínua do manancial da Lagoa do Peri (concentração de cianobactérias da ordem de $1,8 \times 10^6$ cel mL⁻¹), seguindo para o processo de filtração de lavagem contínua e, por fim, para o filtro ascendente convencional. Tanto o filtro de lavagem contínua quanto o filtro ascendente convencional operaram com a mesma taxa de filtração, 150 m³ (m² d)⁻¹.

A água bruta, antes de passar pelo sistema de dupla filtração (Figura 2), era submetida à coagulação com sulfato de

alumínio (SA), doses pré-determinadas através de ensaios de jarrestes, sem adição de dose de outro produto químico para o tratamento.

Ambos os filtros foram construído em aço inoxidável, sendo o filtro de lavagem contínua com as seguintes dimensões: 4 m de altura e 0,80 m de diâmetro. O material filtrante apresenta as seguintes características: espessura do meio filtrante de 2 m; granulometria da areia variando entre 0,80 e 1,40 mm; diâmetro efetivo de aproximadamente 0,80 mm; e coeficiente de uniformidade menor que 1,6. Para proporcionar a lavagem contínua, uma vazão ar de 8 L min⁻¹ foi aplicada com pressão de 5,5 Bar.

Conforme desenho esquemático (Figura 2), a água bruta coagulada (1) entra no filtro por uma tubulação (2), é distribuída (3) na região inferior do meio filtrante de areia e segue em escoamento ascendente. A água filtrada sai por um extravasor (4) situado no topo da unidade.

O meio filtrante de areia move-se na direção oposta à da água em filtração, tendo em vista que a areia suja é extraída da parte inferior do filtro (5), lavada no lavador de areia (6) e lançada no topo do meio filtrante (7).

O transporte ascendente da areia é produzido pelo injetor de ar (8). O ar move-se em escoamento ascendente, junto com a água e a areia suja. A ação do injetor de ar separa a sujeira da areia. A mistura ar/água/areia flui para fora no topo do injetor de ar. A areia e a água caem no lavador. A areia passa pelo lavador e deposita-se no topo do meio filtrante do filtro, enquanto a sujeira e a água são descartadas pela tubulação de descarga de água de lavagem (9). O ar volta à atmosfera.

Na parte inferior do filtro há um cone para distribuição de areia, de modo a assegurar que a areia se mova com a mesma velocidade em toda a área do filtro.

No filtro ascendente convencional, de seção quadrada de 0,20 m de lado, parte da água filtrada no filtro de lavagem contínua coagulada (10) é encaminhada ao fundo falso (11), após receber a segunda aplicação de coagulante. O meio filtrante apresenta as seguintes características: camada suporte de espessura de 0,60 m (12); meio filtrante de areia com espessura de 1,80 m (13); granulometria variando entre 2,30 e 0,59 mm; diâmetro efetivo de aproximadamente 0,70 mm; e coeficiente de uniformidade menor que 2,0. O filtro ascendente convencional possui um conjunto de oito piezômetros instalados em diferentes profundidades (14), com a função de registrar a perda de carga do filtro.

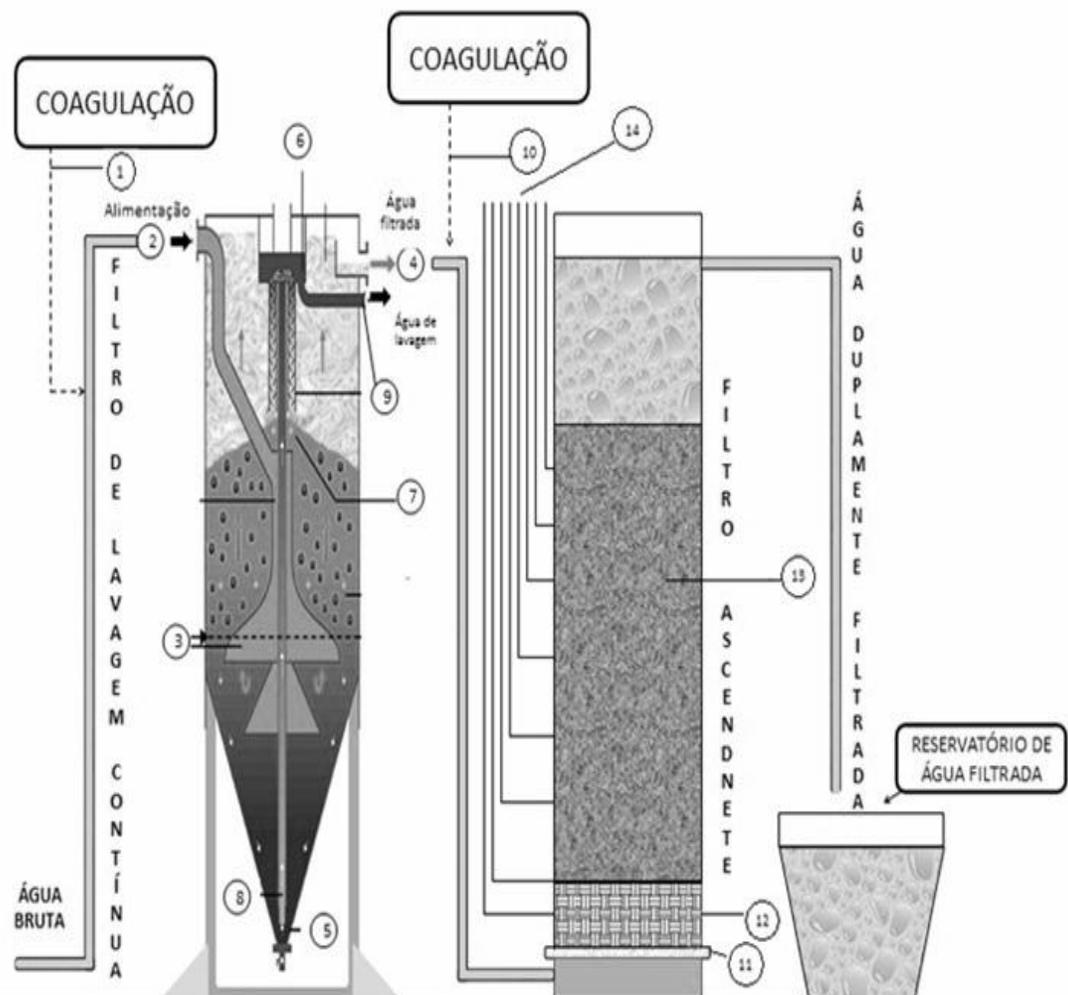


Figura 2: Desenho esquemático da instalação piloto de dupla filtração ascendente (filtração de lavagem contínua e convencional).

3 Resultados e discussões

A espécie dominante de cianobactérias no manancial da Lagoa do Peri foi a *Cylindrospermopsis raciborskii*, com uma abundância de 94,25%, seguida pelas espécies *Planktolyngbya sp.*, *Limnothrix planctônica* e Clorófitas.

A Tabela 1 apresenta os resultados do sistema de tratamento quanto à qualidade de água na carreira de filtração. Na Tabela 2 são apresentados os valores máximos, mínimos e desvios padrão da água bruta e efluentes do filtro de lavagem contínua e filtro ascendente.

Tabela 1: Valores médios de qualidade de água, remoção e carreira de filtração no tratamento.

PARÂMETRO	AB	FLC	FLC (%)	FA	FA (%)	Rem ST (%)
Turbidez (uT)	4,4	1,0	77,3	0,6	40,0	86,4
Cor aparente (uH)	59,8	11,8	80,3	6,6	44,1	88,9
Cor verdadeira (uH)	8,2	3,7	54,9	3,0	18,9	63,4
COD (mg L ⁻¹)	4,6	3,2	30,4	3,2	-	30,4
ABS 254 nm	0,10	0,04	60,0	0,03	25,0	70,0
Clorofila <i>a</i> (µg L ⁻¹)	21,6	5,5	74,5	1,3	76,4	94,0
Cianobactérias (x10 ⁵ cel mL ⁻¹)	11,4	3,8	66,7	1,0	73,7	91,2
Carreira de filtração (h)				293		

NOTA: AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; FLC (%): Remoção em % no Efluente do Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente Convencional; FA (%): Remoção em % no Efluente do Filtro Ascendente Convencional; Rem ST (%): Remoção em % no Efluente Final do Sistema de Tratamento.

Tabela 2: Valores máximos, mínimos e desvios padrão da água bruta e dos efluentes do filtro de lavagem contínua e filtro ascendente.

PARÂMETRO	AB			FLC			FA		
	Máx	Mín	Des Pad	Máx	Mín	Des Pad	Máx	Mín	Des Pad
Turbidez (uT)	7,3	3,1	0,7	1,7	0,6	0,3	2,1	0,3	0,3
Cor aparente (uH)	77,0	41,0	6,7	9,0	1,0	2,5	27,0	1,0	5,0
Cor Verdadeira (uH)	16,0	1,0	4,7	23,0	3,0	5,2	9,0	1,0	2,2
COD (mg L ⁻¹)	5,6	3,0	0,7	1,7	4,5	0,7	6,6	1,8	0,92
ABS 254 nm	0,12	0,07	0,01	0,05	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01
Clorofila <i>a</i> (µg L ⁻¹)	44,6	12,5	7,5	15,0	1,8	3,5	2,7	0,1	1,6

NOTA: AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente Convencional; Máx: Valor Máximo Obtido; Mín: Valor Mínimo Obtido; Des Pad: Desvio Padrão.

No tratamento os valores de turbidez do filtro de lavagem contínua estiveram abaixo de 1,0 uT, exceto na primeira hora de operação em que o valor foi de 1,66 uT, e os valores de cor aparente abaixo de 23 uH, sendo a média dos valores de cor aparente de 11,9 uH. No filtro ascendente, os valores de turbidez e cor aparente também foram baixos, sendo os valores máximos registrados iguais a 1,0 uT e 15 uH, respectivamente, a exceção no valor de turbidez se deu na primeira hora de operação, cujo valor detectado foi de 1,11 uT e média de cor aparente de 6,6 uH.

Percebe-se diferença significativa entre os valores de cor aparente e cor verdadeira. Tal fato se dá devido a um transpasse de células de cianobactérias, as quais ficam retidas na membrana analítica 0,45 µm.

A remoção média nesse sistema para absorvância 254 nm foi de 67%, 31% de COD e 94% de clorofila *a*, sendo 74% no filtro de lavagem contínua e, destes, mais 77% após a filtração ascendente convencional. A concentração máxima e mínima de clorofila *a* no efluente final foi de 6,25 µg L⁻¹ e 0,11 µg L⁻¹, respectivamente.

Em relação à remoção de cianobactérias, no filtro de lavagem contínua esta foi de 66% e de 73% no filtro ascendente convencional, perfazendo um total de 91% no sistema de tratamento. Contudo, mesmo com essa remoção, a densidade de cianobactérias no efluente final do sistema de dupla filtração ainda foi elevada, 1,0 x 10⁵ cel mL⁻¹. Essa remoção é inferior à citada por Mondardo [20] quando se utiliza a FDD com a mesma água (10⁴ cel mL⁻¹), e à citada por Melo Filho [19] quando trata a

água da Lagoa do Peri utilizando filtração direta descendente com pré-oxidação (8,8 x 10⁴ cel mL⁻¹).

A carreira de filtração registrada no sistema de tratamento foi de 293 h. Em estudos anteriores, tratando água do mesmo manancial com um sistema de filtração direta descendente, a carreira de filtração teve uma duração de apenas 7 h, e no sistema de filtração direta com filtro ascendente, obteve-se uma duração de 15 h [16]. Mondardo [21] e Melo Filho [19] reportam que a pré-ozonização prolongou o tempo das carreiras de filtração em até 52%; contudo, a carreira de filtração nesse caso foi bem inferior quando comparada à utilização de filtro de lavagem contínua.

As variáveis cor verdadeira do efluente do filtro ascendente; carbono orgânico dissolvido da água bruta e do efluente do filtro de lavagem contínua; e clorofila *a* para os 3 pontos de amostra não apresentaram normalidade (admitindo nível de significância de 5%).

A comparação das variáveis que não apresentaram normalidade (Clorofila *a*-FLC x Clorofila *a*-AB; Clorofila *a*-FA x Clorofila *a*-AB; COD-FLC x COD-AB; Cor Verdadeira-FA x Cor Verdadeira-AB; COD-FA x COD-AB) e que foram testadas com o teste dos postos com sinais de Wilcoxon pode ser vistas na Tabela 3.

Para os dados que apresentaram normalidade, foi utilizado o teste t pareado. Os resultados estão na Tabela 4.

Tabela 3: Dados que não apresentaram normalidade - - Wilcoxon Signed Ranks Test.

	Clorofila <i>a</i> - FLC x Clorofila <i>a</i> - AB	Clorofila <i>a</i> -FA x Clorofila <i>a</i> -AB	COD-FLC x COD-AB	Cor Verdadeira-FA x Cor Verdadeira-AB	COD-FA x COD-AB
Z	-3,920 ^a	-3,920 ^a	-3,680 ^a	-3,523 ^a	-3,724 ^a
Asymp. Sig. (Bilateral)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

a. Baseado nas classificações positivas.

NOTA: AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente Convencional; Z: Estatística do Teste Principal; Asymp. Sig. (Bilateral): Significância Assinótica Bilateral.

Tabela 4: Dados que apresentaram normalidade – Teste t Pareado.

	PARÂMETROS	t	DF (GL)	Sig. (Bilateral)
Par 1	Cor Aparente-AB X Cor Aparente-FLC	40,436	55	0,000
Par 2	Cor Aparente-AB x Cor Aparente-FLC	52,866	55	0,000
Par 3	Turbidez-AB x Turbidez-FLC	29,223	54	0,000
Par 4	Turbidez-AB x- Turbidez-FA	36,004	54	0,000
Par 5	Cor Verdadeira-AB x Cor Verdadeira-FLC	5,688	20	0,000
Par 6	ABS-AB X ABS-FLC	39,185	22	0,000
Par 7	ABS-AB – ABS-FA	28,205	22	0,000

NOTA: AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente Convencional; t: Estatística do Teste Principal; DF (GL): Grau de Liberdade; Sig. (Bilateral): Significância Bilateral.

4 Conclusões

O sistema de tratamento de água por dupla filtração com filtro de lavagem contínua e filtro ascendente convencional se mostrou eficiente para a remoção de cianobactérias; contudo, ocorre ainda transpasse de células. O sistema é também vantajoso quanto aos serviços operacionais pela grande diminuição do número de lavagens de filtro, aumentando a produção efetiva de água. O filtro de lavagem contínua, quando avaliado de forma independente, trata de maneira satisfatória águas com elevada densidade de cianobactérias, além de influenciar de maneira positiva na remoção dos parâmetros analisados. O efluente do filtro de lavagem contínua, por ser de melhor qualidade, prolonga a carreira de filtração do filtro ascendente convencional. Os parâmetros turbidez, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS 254 nm e clorofila *a*, no sistema de tratamento, decresceram significativamente ($p < 0.05$). Vale salientar que os valores são para água duplamente filtrada sem adição de desinfetante (cloro), o que reduziria mais ainda os valores, aumentando a qualidade do efluente final, principalmente a cor verdadeira.

conventional ascendant filter), with filtration rate of $150 \text{ m}^3 (\text{m}^2 \text{ d})^{-1}$ in both filters. The treatment tested was: coagulant addition in both filters inlet. The parameters evaluated were: turbidity, apparent color, true color, dissolved organic carbon (DOC), absorbance at 254 nm, chlorophyll *a*, cyanobacteria density and loss of load. The double filtration system has proven efficient to the cyanobacteria removal and worthwhile in terms of operational services, once it lessens the second filter washings, which allows obtaining a filtration period up to 293 h and a significant increase in the effective water production.

Keywords: Water potabilization. Upflow double filtration. Continuous backwashinf filter. Cyanobacterias.

Referências

- [1] NAGAVI, B.; MALONE, R. F.; Water Research, Vol. 20, n.3, p.377–83, 1986.
- [2] JANSSENS, J.G.; MUS, I.; DELIRE, C. Special subject 11 – Practice of rapid filtration. In: PROCEEDINGS OF THE IWSA CONGRESS, 1988, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, Brasil, 1988, p. 35-44.
- [3] MOUCHET, P. e BONNÉLYE, V.; J. Water SRT, Aqua., Vol. 47, p.125-141, 1998.
- [4] HART, J.; FAWELL, J. K. e CROLL, B.; Water Supply, Vol. 16, n.1/2, p.611-623, 1998.
- [5] HIMBERG, K.; KEIJOLA, A. M.; HIISVIRTA, L.; Water Research, Vol. 23, n.8, p.979–984, 1989.
- [6] LAHTI, K., J. et al. Fate of cyanobacterial hepatotoxins in artificial recharge of groundwater and in bank filtration. In: PETERS et al. ED. Artificial recharge of groundwater. Washington DC., 1998. p. 211-216.

REMOVAL OF CYANOBACTERIA USING CONTINUOUS BACKWASHING FILTER

ABSTRACT: Aiming the cyanobacteria removal, the present research utilized the upflow double filtration as water treatment system (continuous backwashing filter and

- [7] CHOW, C.; PANGLISCH, S.; MOLE, J.; DRIKA, M.; BURCH, M.; GIMBEL, R.; *Aqua*, Vol. 46, n.6, p.324-334, 1997.
- [8] CHOW, C.W.K; DRIKAS, M.; HOUSE, J.; BURCH, M. D.; e VELZEBOER, R. M. A.; *Water Research*, Vol. 33, n.15, p.3253-3261, 1999.
- [9] RODRIGUEZ, E.; ONSTAD, G. D.; KULL, T. P.; METCALF, J. S.; ACERO, J. L e VON GUNTEN, U.; *Water Research*, Vol. 41, n.15, p.3381-3393, 2007.
- [10] CHENG, X.; SHI, H.; ADAMS, C. D.; TIMMONS, T.; MA, Y.; *Water Sci. Technol.*, Vol. 60, n.3, p.689-697, 2009.
- [11] SENS, M. L. et al. Filtração em Margem. In: PÁDUA, V. L. ED. 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, RiMa, 2006. p.173-236.
- [12] TANGERINO, E. P.; CAMPOS, L. C.; BRANDÃO, C. C. Filtração Lenta. In: PÁDUA, V. L. ED. 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, RiMa, 2006. p.237-273.
- [13] DI BERNARDO, L. Tratamento de Água para Abastecimento por Filtração direta. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 498 p.
- [14] DI BERNARDO, L. et al. Filtração Direta. In: PÁDUA, V. L. ED. 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, RiMa, 2006. p.275-334.
- [15] MIERZWA, J. C. Processos de Separação por Membranas para Tratamento de Água. In: PÁDUA, V. L. ED. 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, RiMa, 2006. p.335-380.
- [16] DI BERNARDO, L. et al. Oxidação. In: PÁDUA, V. L. ED. 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, RiMa, 2006. p.381-414.
- [17] BRANDÃO, C. S.; SILVA, A. S. Remoção de Cianotoxinas por Adsorção em Carvão Ativado. In: PÁDUA, V. L. ED. 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, RiMa, 2006. p.415-465.
- [18] MARNOTO, Maria João. A Influência da Expansão da Areia Durante a Retrolavagem dos Filtros Lentos sobre a Qualidade da Água para Abastecimento e a Duração das Carreiras. 2008. 86 f. Dissertação (Instituto Superior de Agronomia/Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Mestrado) – Universidade Técnica de Lisboa/Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2008.
- [19] MELO FILHO, Luiz Carlos. Avaliação da Ozonização como pré ou pós-tratamento à Filtração Direta Descendente na Remoção de Cianobactérias e Saxitoxinas. 2006. 268 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2006.
- [20] MONDARDO, Renata Isa. Avaliação da Filtração em Margem como pré-tratamento à Filtração Direta Descendente na Remoção de Células de Cianobactérias e Saxitoxinas. 2009. 308 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.
- [21] MONDARDO, Renata Isa. 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 (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.
- [22] FREED JR, A. J.; GUTIERREZ, M. A. E WESSELS, C. .; *Water and Wastewater International*, Vol. 22, n.2, p.12-13, 2007.
- [23] SIN, G.; WEIJMA, J.; SPANJERS, H.; NOPENS, I.; *Process Biochemistry*, Vol. 43, n.4, p.384-397, 2008.
- [24] PÜMPEL, T., EBNER, C., PERNFUß, B., SCHINNER, F., DIELS, L., KESZTHELYI, Z., STANKOVIC, A., WOUTERS, H.; *Hydrometallurgy*, Vol. 59, n.2/3, p.383-393, 2001.
- [25] PÜMPEL, T., EBNER, C., PERNFUß, B., SCHINNER, F., DIELS, L., KESZTHELYI, Z., STANKOVIC, A., WOUTERS, H.; *Process Metallurgy*, Vol. 9, p. 383-392, 1999.
- [26] PERNFUß, B., EBNER, C., PÜMPEL, T., DIELS, L., MACASKIE, L., TSEZOS, M., KESZTHELYI, Z., GLOMBITZA, F.; *Process Metallurgy*, Vol. 9, p.373-382, 1999. [27] 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. In: PROCEEDINGS OF THE TMS FALL EXTRACTION AND PROCESSING CONFERENCE, 3., 1999, Genebra. Anais... Genebra, 1999, p. 2337-2345.
- [28] DAAMEN, E.J., WOUTERS, J.W., SAVELKOUL, J.T.G.; *Water Sci. Technol.*, Vol. 41, n.4/5, p.445-451, 2000.
- [29] KRAMER, J.P., WOUTERS, J.W., NOORDINK, M.P.M., ANINK, D.M.E., JANUS, J.M.; *Water Sci. Technol.*, Vol. 41, n.4/5, p.29-33, 2000.
- [30] WOUTERS, J.W. e DE BEEN, P.; *Water and Wastewater International*, Vol. 19, n.2, p.41, 2004.
- [31] DUYVESTEIJN, C.P.T.M. (1998); *Desalination*, Vol. 119, n.1/3, p.357-358, 1998.
- [32] APHA; AWWA; WPCF; Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater; American Public Health Association; Washington DC, 1999. CD-Rom.
- [33] NUSCH, E. A.; *Arch. Hydrobiol. Beih. Stuttgart*, Vol. 14, p.14-36, 1980.
- [34] HASLE, G. R.; *The inverted microscope; Phytoplankton Manual*; Paris, 1978, p.88-96.