

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO LEITO DE GEOMETRIA QUADRADA CULTIVADO COM ELEOCHARIS E TYPHA NA REMOÇÃO DE METAIS PESADOS

SEBASTIÃO AVELINO NETO¹, SILVANA MOREIRA², SANDRA MÁSCIMO DA
COSTA E SILVA³, FELIPE VINICIUS OLIVEIRA SILVA⁴

¹ Eng^o Agrícola, Prof. Adjuntor, Universidade Estadual de Goiás - UEG, Fone: (062) 991836944, sebastiao.neeto@ueg.br

² Física, Prof. Titular, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

³ Eng^o Aggônoma, Prof. Doutora, Universidade Estadual de Goiás – UEG.

⁴ Engenheiro Civil, Empresa Casa

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: A contaminação dos corpos d'água por metais pesados, é de grande importância, pois mesmo após o tratamento, é possível que a água ainda esteja contaminada. Este trabalho teve como objetivo avaliar a operação e o desempenho de leitos cultivados com *Eleocharis* sp. de fluxo subsuperficial na remoção de metais pesados, operando como pós-tratamento de um Tanque Séptico Modificado. O sistema foi instalado na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, constituído de uma seção retangular e uma quadrada, dispostos em paralelo, utilizando como meio suporte brita #2. Utilizou-se Tempos de Detenção Hidráulicos de 2, 3, 4 e 6 dias, as amostras foram coletadas na entrada e saída de cada leito durante 5 semanas para cada TDH e analisando-se os metais cromo, manganês, ferro, cobre, zinco e chumbo. O leito de geometria quadrado apresentou eficiência na remoção dos metais Cr, Mn, Fe, Cu, Zn e Pb que variou de 91,0 % a 99,9 %. O sistema atendeu ao CONAMA n^o 375 reduzindo a concentração de metais a níveis permitidos com os TDH de 4 e 6 dias.

PALAVRAS-CHAVE: Água residuária, Macrófitas, Tratamento

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE SQUARE GEOMETRY BED CULTIVATED WITH ELEOCHARIS AND TYPHA IN REMOVING HEAVY METALS

ABSTRACT: The contamination of water bodies by heavy metals, is of great importance, since even after treatment, it is possible that the water is still contaminated. This work aimed to evaluate the operation and performance of cultivated beds with *Eleocharis* SP. subsurface flow on removal of heavy metals, operating as a Septic Tank Modified aftertreatment. The system was installed at the Faculty of agricultural engineering at UNICAMP, consisting of a rectangle and a square section, arranged in parallel, using as support medium gravel # 2. Used Hydraulic detention times of 2, 3, 4 and 6 days, the samples were collected at the entrance and exit of each bed for 5 weeks for each TDH and analyzing metals chromium, manganese, iron, copper, zinc and lead. The square geometry presented bed removal efficiency of Cr, Mn, Fe, Cu, Zn and Pb that ranged from 91.0% to 99.9%. The system answered the CONAMA in 375 reducing the concentration of metal leve permitted with the TDH of 4 and 6 days.

KEYWORDS: Wastewater, Macrophytes, Treatment.

INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial neste século, acompanhada de um aumento dos parques industriais, trouxeram alguns problemas a serem enfrentados por toda a sociedade, como por exemplo à remoção dos resíduos orgânicos e inorgânicos produzidos pela própria população. VASCONCELOS (2005) em seu artigo informa que apenas 10% dos efluentes domésticos gerados no país são submetidos a algum tipo de tratamento. O resto, um volume de aproximadamente 10 bilhões de litros, é jogado diariamente nos rios e córregos.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde, a falta de água potável e de saneamento no Brasil é causa de 80% das doenças e 65% das internações hospitalares, implicando gastos de US\$ 2,5 bilhões. Estima-se que para cada R\$ 1,00 investido em saneamento, se economizaria R\$ 5,00 em serviços de saúde.

Segundo SILVA (1991), a contaminação dos corpos d' água por metais pesados (Pb, Cd, As, Hg, etc.) vem recebendo uma grande atenção por parte dos ambientalistas no que diz respeito a sua toxicidade no meio aquático e à vida humana, pois mesmo depois de tratada, é possível que a água não esteja totalmente livre de contaminação. A poluição dos recursos naturais por metais, resulta de diferentes atividades econômicas, a maioria delas industriais, em função das suas características intrínsecas, são intensivamente poluidoras, embora fontes agrícolas e a disposição de rejeitos domésticos também contribuam para a liberação de metais no meio ambiente.

Dentre as diferentes opções de sistemas tratamento de efluentes, encontra-se o sistema de tratamento com leitos cultivados (LC) também denominados *wetlands*, um sistema simples, que, com o auxílio de macrófitas (também conhecida pelo termo hidrófitas), promovem a depuração da água residuária, com mínima geração de biossólidos eliminando boa parte de compostos orgânicos e inorgânicos, e com possibilidade da utilização das macrófitas como matéria-prima para uma atividade econômica, e o uso do seu efluente final na agricultura como por exemplo para a irrigação, hidropônia entre outros, tornando de grande importância o estudo e aprimoramento deste sistema para emprego, não só em comunidades rurais mas também em indústrias apresentado por VALENTIM (1999).

O estudo de metais em água residuárias tem despertado o interesse de pesquisadores, entretanto pesquisa com este tema encontra dificuldades, sendo trabalhoso a determinação dos elementos e geralmente os métodos destroem as amostras e o alto custo para se realizar as análises dos elementos.

A técnica fluorescência de raios X permite realizar a identificação qualitativa dos elementos. oferece algumas vantagens como a reduzida interferência entre as linhas espectrais; o método é não destrutivo podendo ser usado nos diversos tipos de amostras sem destruí-las apresentado como um método preciso.

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho de duas unidades de leito cultivado de seção quadrada com *Eleocharis sp.* e *Typha sp.* na remoção dos metais cromo, manganês, ferro, cobre, zinco e chumbo da água residuária usando a técnica de fluorescência de raio X por reflexão total com radiação síncrotron (SR-TXRF).

MATERIAL E MÉTODOS

Para o presente trabalho foi utilizado um sistema de tratamento de águas residuárias localizado no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da UNICAMP, Campinas-SP.

O sistema de tratamento da FEAGRI, é constituído de um conjunto de três Tanques Sépticos Modificado dispostos em série, utilizado como tratamento primário e pós-tratamento realizado por um sistema piloto de leito cultivado de fluxo subsuperficial horizontal, constituído por seis unidades de leito em paralelo sendo três de geometria quadrada com a dimensão de 2 x 2 m e três de geometria retangular com dimensão de 4 x 1m. Para a

depuração da água residuária o leito foi composto de meio suporte constituído por brita # 2 e vegetado com as macrófitas *Eleocharis sp.* e *Typha sp.*

Na operação do leito cultivado foi utilizado quatro tempo de detenção hidráulica (TDH) de 2, 3, 4 e 6 dias, e coletada amostras da água residuária foram realizadas na entrada e saída do leito cultivado, por um período de cinco meses (vinte semanas).

No preparo das amostras de água residuária, foram filtradas e em um volume de 1 mL, adicionado 100 µL Ga (102,5 µg.mL⁻¹), solução usada como padrão interno. Uma pequena alíquota de 5 mL da amostra foi pipetada sobre uma placa de lucite (Perpex) e seca com lâmpada infravermelha (SCHMIKTT, 1987).

Análise quantitativa por fluorescência de raios X por reflexão total (TXRF), pode ser realizada obtendo a concentração dos elementos de interesse, através da equação (1).

$$C_i = \frac{I_i \cdot C_p}{I_p \cdot S_{ri}} \quad (1)$$

em que:

C_i – concentração na solução pipetada no suporte (µg.mL⁻¹),

I_i – intensidade líquida dos raios X da linha característica K ou L do elemento i de interesse (cps),

I_p – intensidade do padrão interno p na amostra (cps),

C_p – concentração do padrão interno p na amostra (µg.mL⁻¹).

S_{ri} – sensibilidade relativa (adimensional).

Para a obtenção da intensidade fluorescente, foi empregado o programa computacional AXIL (*Analysis of X-ray spectra by Iterative Least squares fitting*), o qual faz parte do pacote QXAS (*Quantitative X-ray Analysis System*), BERNASCONI e TAJANI, 1996.

Limite de detecção da fluorescência de raios X, em um espectro de pulsos de raios X, pode-se observar uma linha aproximadamente contínua, sob os picos característicos das interações das radiações espalhadas pela amostra com o detector, e também das próprias radiações características emitidas pelos elementos.

Assim como informa HOPKE (1991) em cada pico no espectro de pulsos há uma área devida em parte à intensidade dos raios X característicos (denominada intensidade líquida) de um elemento i e em parte ao continuum ou background (BG) naquela região i. A área sob os picos que representa a intensidade fluorescente é diretamente proporcional à concentração dos elementos presentes na amostra.

O limite de detecção LD_i (cps) para cada elemento i está diretamente relacionado com a intensidade de BG_i (cps) sob o pico desse elemento de acordo com a equação 2.

$$LD_i = 3 \cdot \sqrt{BG_i} \quad (2)$$

Este limite pode-se expresso como uma concentração elementar (ppm) que resulta em uma intensidade líquida igual a três vezes a intensidade do BG (cps) como demonstra a equação 3.

$$LD_i = 3 \cdot \sqrt{\frac{I_{i(BG)}}{t} \cdot \frac{C_p}{I_p \cdot S_{ri}}} \quad (3)$$

em que:

t = tempo de contagem (s).

Para verificar o desempenho do leito cultivado foi elaborada a equação 4, a qual possibilitou obter a eficiência de remoção dos metais da água residuária através da concentração dos elementos presentes na água residuária do efluente (saída) e afluente (entrada).

$$E_{LC} = \left(1 + \frac{C_e}{C_a} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

em que:

ELC = eficiência média de remoção do leito cultivado (%).

Ce = concentração do metal no efluente (mg.L⁻¹).

Ca = Concentração do metal no afluente (mg.L⁻¹).

Os metais podem inviabilizar os sistemas públicos de água, uma vez que as estações de tratamento convencional não os removem eficientemente e os tratamentos especiais necessários são muito caros.

Para o padrão de controle de qualidade das águas, a resolução do CONAMA N° 375 de 17/03/2005 dispõe sobre a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, conforme tabela 1.

TABELA 1: Padrões de lançamento de efluente. **Release of effluent standards.**

Parâmetros Inorgânicos	Valor Máximo Permitido (mg.L ⁻¹)
Chumbo total	0,5
Cobre dissolvido	1,0
Cromo total	0,5
Ferro dissolvido	15,0
Manganês dissolvido	1,0
Zinco total	0,5

fonte: CONAMA, D.O.U 2005

RESULTADOS E DISCUSSÃO

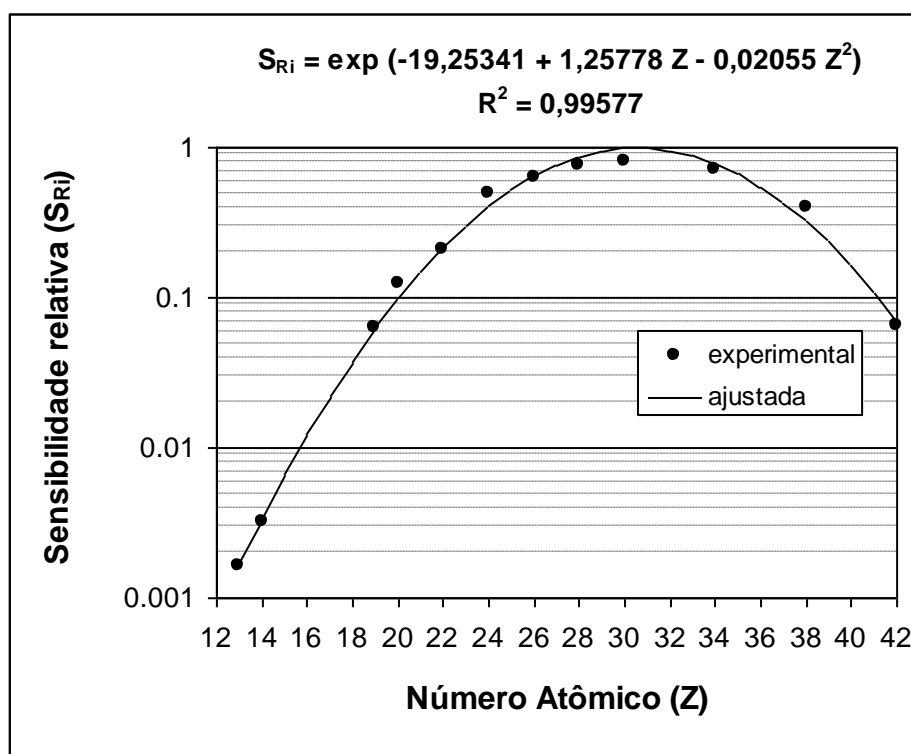


FIGURA 1. Curva da sensibilidade relativa (S_{Ri}) para a série K por SR-TXRF.

Após a determinação dos valores experimentais da sensibilidade relativa para os elementos contidos na solução padrão das séries K, foi realizado o ajuste da curva que relaciona a sensibilidade relativa com o número atômico do elemento. A equação obtida para a série K, com o coeficiente de determinação apresentado na equação da Figura 1, indica que a equação representa bem os dados experimentais obtidos.

O coeficiente de determinação obtido na Figura 2, abaixo indica que a concentração dos elementos presentes nas amostras de água residuária em 99,65% dos casos são determinados pela técnica de fluorescência de raio X por reflexão total com radiação síncrotron (SR-TXRF).

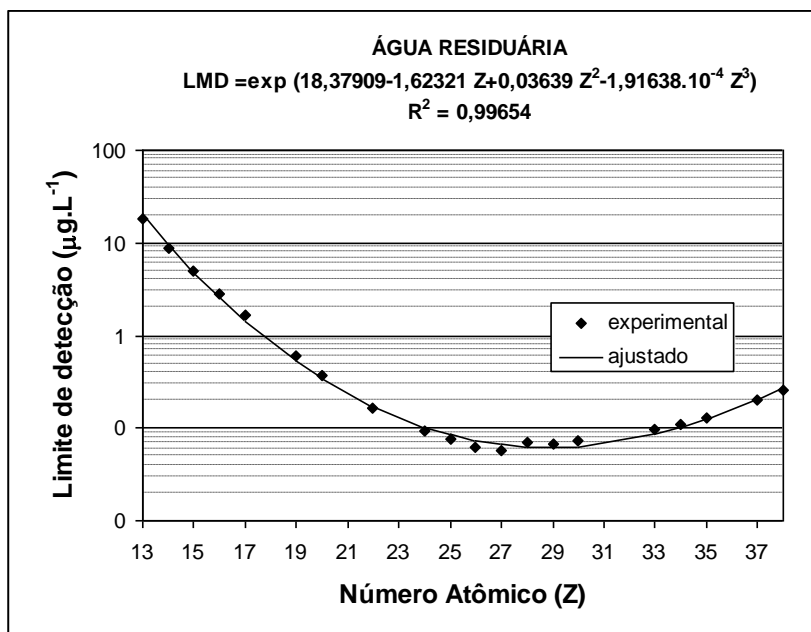


FIGURA 2. Limite mínimo de detecção para os elementos da série K contidos nas amostras de água residuária por SR-TXRF.

Leito cultivado com *Eleocharis sp. quadrado*

O desempenho do leito cultivado com *Eleocharis sp. quadrado*, foi obtido com os valores médios da concentração dos elementos Cr, Mn, Fe, Cu, Zn e Pb presentes no afluente e efluente. Utilizando a equação 4 determinou-se a eficiência média de remoção do leito cultivado sendo os valores apresentados no gráfico da Figura 3.

Analisando a Figura 3, verifica-se que a eficiência remoção dos metais pelo leito cultivado com *Eleocharis sp. quadrado* foi superior a 92,7 % para os TDH analisados exceto para o Cr, Fe e Pb os quais tiveram valor inferior para o TDH de 2, 3 e 4 dias. Este valor de eficiência de remoção influenciaram no momento de atender a norma do CONAMA N^o 375 (Tabela 1), a qual dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes em corpos de água. Pois o LCEQ atendeu a legislação vigente para lançamento de Cr e Pb quando operado com o TDH de 6 dias, para o Pb também pode ser utilizado o TDH de 4 dias, pois a concentração do efluente é inferior a 0,5 mg.L⁻¹ conforme legislação.

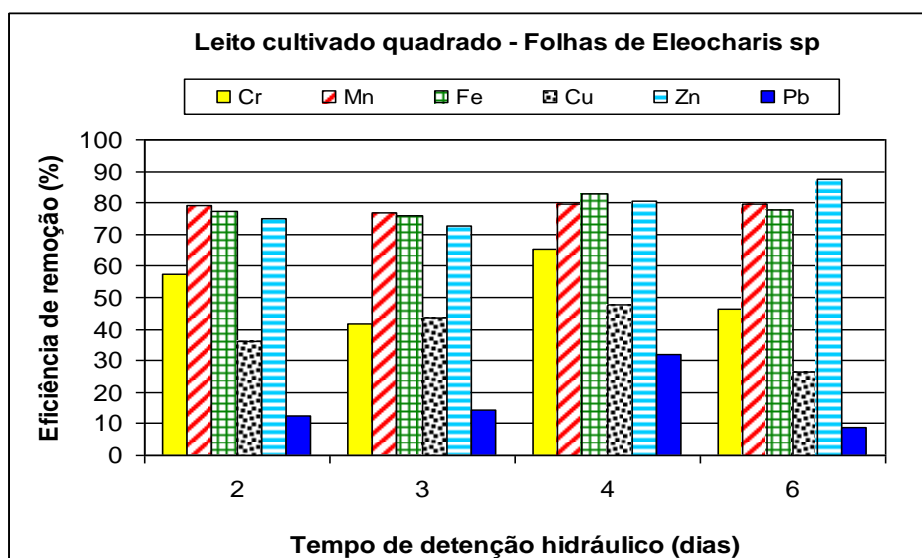


FIGURA 3. Efiência de remoção média para Cr, Mn, Fe, Cu, Zn e Pb pelas folhas da macrófita *Eleocharis sp* no leito cultivado quadrado com diferentes tempos de deteção hidráulica.

A concentração dos metais apresentada na Tabela 2, foi inferior aos valores apresentados na Tabela 1, para o Mn a concentração inferior a 1,0 mg. L⁻¹ foi obtida quando o leito cultivado com *Eleocharis sp*. quadrado operou com os TDH de 3, 4 e 6 dias com, já para os metais Fe, Cu e Zn a concentração foi reduzida a limite inferior a 15, 1,0 e 5,0 mg. L⁻¹ respectivamente, conforme norma do CONAMA N^o 375 (Tabela 1), para todos os TDH de 2, 3, 4 e 6 dias ou seja todos utilizados.

TABELA 2. Valores médios das concentrações dos metais no efluente do leito cultivado com *Eleocharis* quadrado para diferentes TDH. **Average values of concentrations of metals in the effluent of cultivated with *Eleocharis* square to different TDH.**

TDH	Concentração (mg.L ⁻¹)					
	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb
2	5,98	2,25	9,50	0,37	0,77	2,49
3	3,95	0,90	8,36	0,22	0,71	1,78
4	0,80	0,27	7,04	0,08	0,56	0,33
6	0,04	0,20	2,34	0,04	0,18	0,30

Leito cultivado com *Typha sp.* quadrado

Com a Figura 4 pode-se verificar que para a maior efiência de remoção para os metais analisados foi obtida com o TDH de 6 dias. Assim como para a macrófita *Eleocharis* percebe-se a tendência da *Typha* apresentar maior efiência com o aumento do TDH, este fato pode ser influenciado também pelo clima, pois as coletas foram realizadas no período de verão, portanto com maior intensidade fisiológica da planta.

Pode-se observar que a efiência de remoção de Cu pela *Typha* foi inferior aos demais micronutrientes, pois sua absorção foi influenciado pelos elementos Mn, Fe e Zn que quando presentes em altas concentrações competem entre si. Para Cr e Pb que são metais tóxicos, a planta só retém altas concentrações quando não possui micronutrientes disponíveis em quantidade suficiente para o desenvolvimento segundo CREFFI (1986).

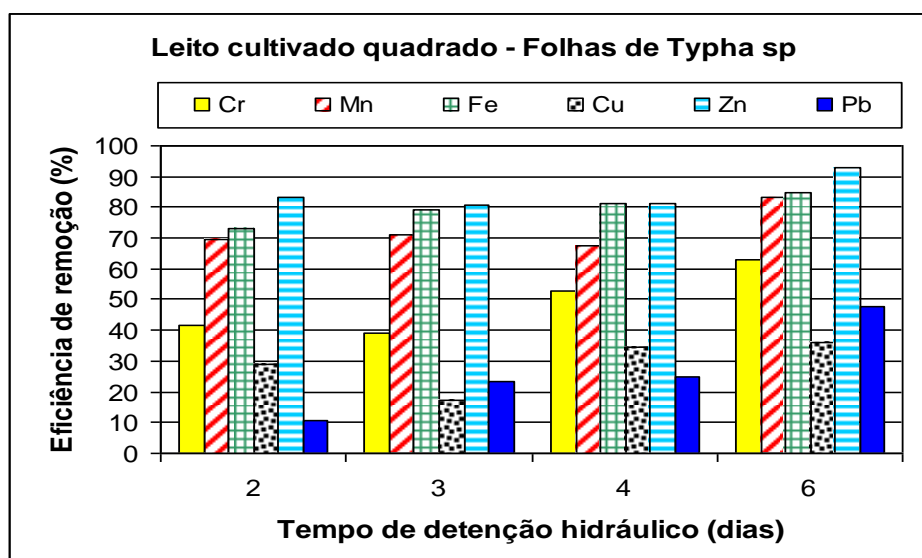


FIGURA 4. Eficiência de remoção média para Cr, Mn, Fe, Cu, Zn e Pb pelas folhas da macrófita *Typha sp* no leito cultivado quadrado com diferentes tempos de detenção hidráulica.

Analisando a tabela 3 verifica-se que a eficiência de remoção dos metais pelo LC com *Typha* quadrado foi superior a 90%, exceto para o Cr e Pb quando o LC foi operado com TDH de 2 e 3 dias. Para Cr com o TDH de 6 dias foi possível reduzir a concentração a limite permitido pela legislação. Para o Pb com os TDH de 4 e 6 dias a concentração no efluente foi inferior a $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ permitido pela CONAMA Nº 375 conforme tabela 1. Para o Mn, foi atendida quando o LCTQ operou com os TDH de 3, 4 e 6 dias, já para Fe, Cu e Zn a legislação foi atendida com todos TDH utilizados.

TABELA 3. Valores médios das concentrações dos metais no efluente do leito cultivado com *Typha* quadrado para diferentes TDH. **Average values of concentrations of metals in the effluent of cultivated with *Typha* square to different TDH.**

TDH	Concentração (mg.L^{-1})					
	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb
2	3,95	1,15	5,20	0,26	0,71	1,43
3	2,66	0,73	4,59	0,32	0,86	1,26
4	0,74	0,28	2,70	0,05	0,19	0,18
6	0,13	0,15	2,75	0,04	0,31	0,34

CONCLUSÕES

Através da análise dos resultados e das discussões realizadas no presente trabalho, foi possível chegar às conclusões expostas a seguir.

Para o desempenho do sistema de leito cultivado de geometria quadrada operando com os TDH de 2, 3, 4 e 6 dias, o leito cultivado quadrado com *Typha*, *Eleocharis* removeram os metais Cr, Mn, Fe, Cu, Zn e Pb a limites permitidos pela norma CONAMA nº 375, sendo os TDH de 4 e 6 dias recomendados para a operação do sistema de leito cultivado quadrado.

Analisando o desempenho dos leitos de geometria quadrada, conclui-se que o leito cultivado com *Typha* com eficiência de remoção dos metais Cr, Mn, Fe, Cu, Zn e Pb variando entre 91,0 % e 99,9 %, apresentou melhor desempenho que o leito de geometria quadrado com *eleocharis* com eficiência de 74,8 a 99,5 %.

REFERÊNCIAS

BERNASCONI, G.; TAJANI, A. Quantitative X-ray analysis system (QXAS) – Manual. 1996. Disponível em <<http://www.iaea.org>> Acesso em: 20 abril 2010.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 357/2005 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar 2005.

CREFFI, N. M. Curso de biologia: Ecologia. In: **O homem e a biosfera**. São Paulo: Ed. Harbra, 1986. cap. 10, p. 165 – 183.

HOPKE, P. K. Receptor modeling for air quality management. Elsevier, Amsterdam, 1991. 329 p.

SCHMIKTT, M.; HOFFMANN, P.; LIESER, K. H. Perspex as sample carrier in TXRF. Fresenius Zeitschrift für Analytische Chemie, 328, p. 593 - 594, 1987.

SILVA, M. E. M. C. Tratamento de efluentes industriais contendo metais pesados através do método de flotação de precipitados. 1991. 302 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)

Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

VALENTIM, M. A. A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado**. 1999, 119 f.. Dissertação (Mestrado em Água e Solo) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

VASCONCELOS, Y. Purificação das águas: cobrança pelo uso da água dos rios deve impulsionar a adoção de novas tecnologias para tratamento e reuso de efluentes sanitário e industrial. **Revista Pesquisa FAPESP**, São Paulo, n. 75, p. 65 – 69, mai 2002.