



USO DE BIOMASSA SECA DE AGUAPÉ (*Eichornia crassipes*) VISANDO À REMOÇÃO DE METAIS PESADOS DE SOLUÇÕES CONTAMINADAS

USE OF DRY BIOMASS OF WATER HYACINTH (*Eichornia crassipes*) FOR THE REMOVAL OF HEAVY METALS FROM CONTAMINATED SOLUTIONS

USO DE BIOMASA SECA DE AGUAPE (*Eichornia crassipes*) VISANDO A LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS DE SOLUCIONES CONTAMINADAS

Luísa Helena dos Santos Oliveira¹
Rafael Furlan Moreira²

Resumo: a fitorremediação mostra-se como um avanço da biotecnologia para o tratamento do solo e água, que vêm sofrendo agressões antropogênicas. Objetivou-se avaliar a eficácia do uso de biomassa de *Eichornia crassipes* na remoção, por adsorção, de Cu, Zn e Pb, de soluções preparadas com padrões destes metais, após digestão nitroperclórica na biomassa seca e determinação dos teores desses metais por espectrometria de absorção atômica, modalidade chama. Houve remoção significativa pela massa seca nos diferentes tratamentos, concluindo-se que a mesma é excelente material para a remoção, tanto em pequena como em grande escala, de corpos hídricos contaminados com metais pesados.

Palavras-chave: Fitorremediação. Águas contaminadas. Metais pesados. Aguapé (*Eichornia crassipes*).

Abstract: phytoremediation shows itself as a breakthrough in biotechnology for the treatment of soil and water, which has been suffering from anthropogenic aggression. The objective of this study was to evaluate the efficacy of the *Eichornia crassipes* biomass in the adsorption of Cu, Zn and Pb from solutions prepared with standards of these metals after nitroperchloric digestion in the dry biomass and determination of the contents of these metals by absorption spectrometry atomic, flame mode. There was significant removal by dry mass in the different treatments, concluding that it is excellent material for the removal, in small and large scale, of water bodies contaminated with heavy metals,

Keywords: Phytoremediation. Water contaminated. Heavy metals. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*).

Resumen: la fitorremediación se muestra como un avance de la biotecnología para el tratamiento del suelo y del agua, que vienen sufriendo agresiones antropogénicas. Se evaluó la eficacia del uso de biomasa de *Eichornia crassipes* en la remoción, por adsorción, de Cu, Zn y Pb, de soluciones preparadas con patrones de estos metales, tras digestión nitroperclórica en la biomasa seca y determinación de los metales de estos metales por espectrometría de absorción atómica, modalidad llama. Se observó una remoción significativa por la masa seca en los diferentes tratamientos, concluyendo que la misma es excelente material para la remoción, tanto en pequeña como a gran escala, de cuerpos hídricos contaminados con metales pesados.

¹ Professor Doutor. CECSUFABC. E-mail: luisa.oliveira@ufabc.edu.br

² Eng. Ambiental e Urbano. E-mail: rafa_furlan10@hotmail.com



Envio 01/ 03/2019 Revisão 01/ 03/2019 Aceite 01/ 03/2019

Introdução

A humanidade vem usando a água doce, desde tempos remotos, de uma forma indiscriminada, como se esta fosse um recurso infinito. Em função do crescimento populacional, do intenso uso industrial e agrícola e do acelerado aumento da poluição de rios e lagos, ocasionada pelo despejo desordenado de rejeitos industriais e urbanos, cresce em todo o mundo a consciência da sustentabilidade e, principalmente, de que a água, em condições de uso, torna-se um recurso cada vez mais escasso (PEGORINI et al., 2005).

Oliveira et al. (2001) afirmam que, dentre as várias formas de contaminação do meio ambiente, resultantes das diversas atividades industriais e agrícolas, a contaminação da água com metais pesados é uma das que têm trazido mais preocupação aos pesquisadores e órgãos governamentais envolvidos no controle de poluição.

A expressão metal pesado se aplica a elementos que possuem massa específica maior que $5,00 \text{ g cm}^{-3}$ ou que tenham número atômico maior do que 20,00 (GONÇALVES JUNIOR et al., 2000). Metais como cobre (Cu), zinco (Zn), níquel (Ni) e cromo (Cr) são utilizados no metabolismo biológico e considerados essenciais, enquanto chumbo (Pb) e cádmio (Cd) não são essenciais, portanto, são tóxicos, mesmo em níveis de traço. Os metais essenciais podem também produzir efeitos tóxicos quando em concentrações elevadas (TÜZEN, 2003).

Segundo Rubio e Schneider (2003), há grande interesse em encontrar meios que possibilitem a descontaminação do meio ambiente. Uma das alternativas para a descontaminação ambiental é o uso de fitorremediação, que é definida como o uso de sistemas vegetais e de sua microbiota com o fim de remover, degradar ou isolar substâncias tóxicas do ambiente. Estudos recentes indicam que biomassas de macrófitas aquáticas, tais como *Potamogeton lucens*, *Salvinia sp.* e *Eichornia crassipes*, mesmo secas, possuem alta capacidade de acumular íons metálicos. Essas biomassas podem suportar vários ciclos de



sorção e desorção e podem ser usadas em processos similares aos utilizados para carvão ativado e resinas de troca iônica.

A *Eichornia crassipes* é amplamente conhecida pela sua capacidade de remoção de metais pesados e nutrientes de soluções e águas contaminadas (GONÇALVES JUNIOR et al., 2008). Porém, poucas são as informações relacionadas a biomassa seca desta macrófita, demonstrando que existe a necessidade de maiores pesquisas sobre este assunto.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia do uso de biomassa seca da macrófita aquática *Eichornia crassipes* na remoção, por meio de adsorção, dos metais pesados Pb, Cu e Zn, provenientes de soluções preparadas com padrões destes metais e de águas contaminadas com metais, da bacia do Rio Tamanduateí, na região de Santo André (SP).

Materiais e Métodos

Descrição da espécie de planta utilizada e Instalação do experimento

Um das macrófitas aquáticas que atua como depuradora em áreas úmidas é o aguapé (*Eichhornia crassipes*), conforme Zhu et al. (1999). As descrições ecológicas definem *E. crassipes* como sendo uma macrófita aquática de forma biológica flutuante livre, com sistema de raízes fibrosas e com folhas de coloração verde escuras. Suas folhas possuem pecíolo esponjoso inflado que possibilita a sua forma biológica flutuante, além disso as flores possuem pétalas em tons de lilás claro à azul escuro, com amarelo no centro da pétala superior, sendo dispostas em densas espigas projetadas para fora da planta (FIGURA 1)

No Brasil, devido ao clima apropriado, diversas espécies apresentam altos índices de reprodução. O exemplo mais clássico é a macrófita *Eichhornia crassipes* que ocorre em todo o território brasileiro e apresenta valores de produtividade de até 1000 kg ha⁻¹ dia⁻¹ (COELHO, 1994), possuindo diversas nomenclaturas: Mururé, Moreru, Baronesa, Camalote, Lírio de Água, sendo no Estado do Paraná, mais conhecida como Aguapé, já nos países de língua inglesa é denominada “*Water hyacinth*” (Jacinto de água).

As plantas de aguapé (*Eichhornia crassipes*) foram coletadas às margens da Represa Billings (São Paulo – SP) e encaminhadas ao laboratório de Processos Biológicos da



Universidade Federal do ABC (UFABC), onde foram lavadas e armazenadas em pequenas bacias, durante o período de experimentação.

Foram determinadas, ainda, as concentrações dos metais Pb, Cu e Zn na água utilizada para implantação do experimento e retiradas alíquotas de cada tratamento para certificação da concentração inicial de cada metal em cada tratamento.

Para acondicionamento das soluções preparadas e da biomassa, que foi utilizada como adsorvente dos metais pesados, foram utilizados béquers com volume de 1,00 L. Em cada recipiente, utilizou-se 1,00 L de solução e 15,00 g de biomassa do aguapé.



(A)



(B)

Figura 1. Sistemas de raízes da planta de aguapé (*Eichornia crassipes*) (a) utilizada na fitorremediação das soluções contendo metais pesados (b).

As concentrações dos metais nas soluções utilizadas para cada tratamento nos vasos foram $0,00\text{mg mL}^{-1}$ (Testemunha); $2,50\text{ mg mL}^{-1}$ (Tratamento1); $5,00\text{ mg mL}^{-1}$ (Tratamento



Revista Hipótese

ISSN: 2446-7154

2); 7,50 mg mL⁻¹(Tratamento 3) e 10,00 mg mL⁻¹ (Tratamento 4) de cada metal pesado (Pb, Cu e Zn). Como fonte de Zn, Cu e Pb, foram utilizados os reagentes analíticos sólidos: sulfato de zinco (ZnSO₄ 7H₂O), sulfato de cobre (CuSO₄ 5H₂O) e acetato de chumbo ((CH₃COO)₂Pb 3H₂O), respectivamente.

Como as soluções aquosas de cada vaso (tratamento) continham as três espécies químicas, foi estudada a adsorção simultânea delas pelo aguapé. Com isso, foi possível determinar se havia a relativa seletividade dos aguapés por um ou mais metais.

Foram coletadas alíquotas das soluções aquosas em intervalos de 1, 2, 3, 6, 12, 24, 36 e 48h após a instalação do experimento, de modo a se determinar o tempo ótimo de adsorção para cada metal nestas condições. Após 48h da instalação do experimento, a biomassa do aguapé foi retirada e seca em estufa com circulação fechada de ar, por 48h, a 65°C, sendo posteriormente pesada e triturada. Na biomassa seca, foi realizada digestão nitroperclórica (AOAC, 1990), seguida de determinações por EAA/chama (WELZ, 1985).

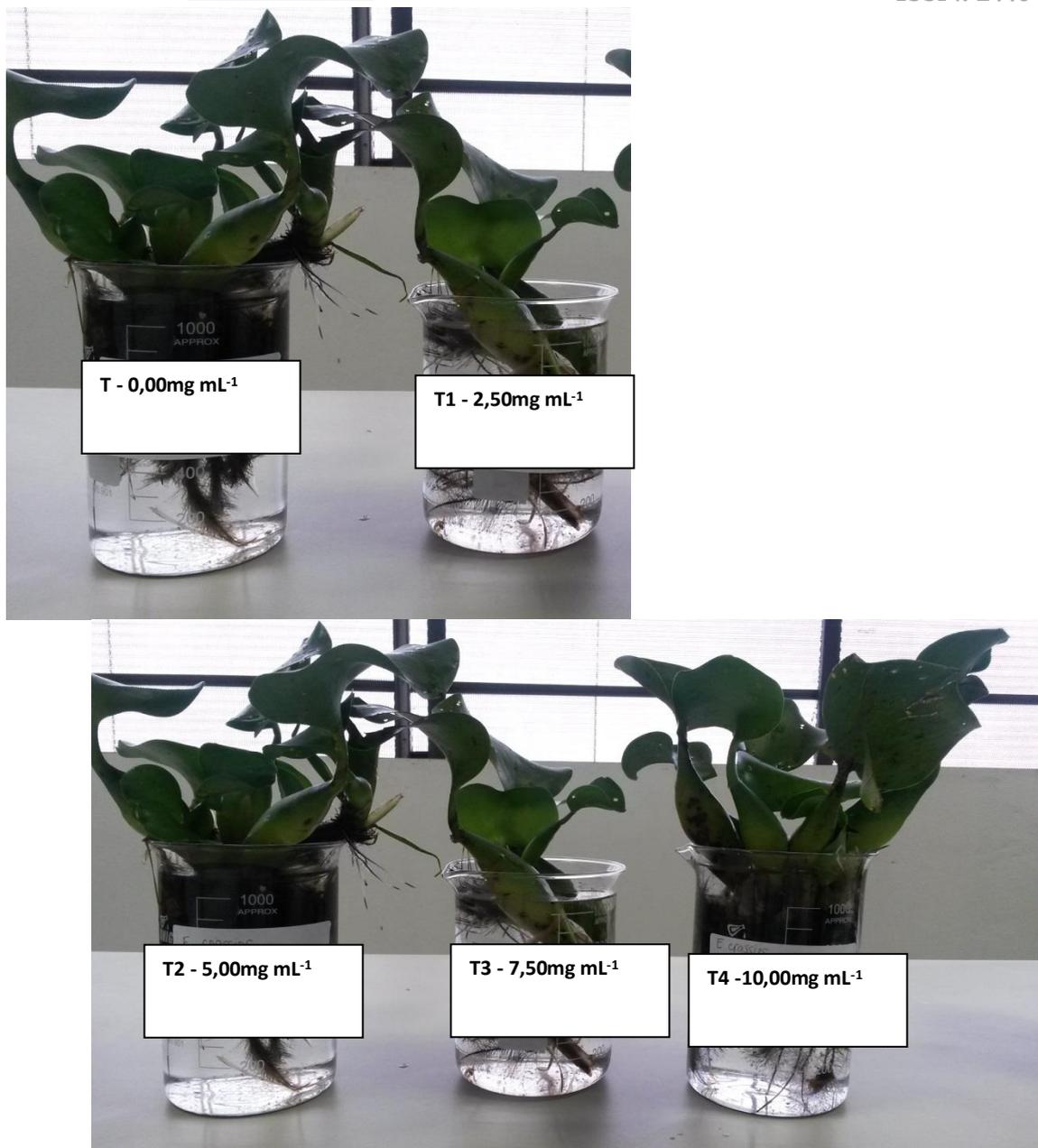


Figura 2. Montagem dos ensaios com as concentrações dos metais nas soluções utilizadas para cada tratamento de cada metal pesado (Pb, Cu e Zn): $0,00\text{ mg mL}^{-1}$ (Testemunha); $2,50\text{ mg mL}^{-1}$ (Tratamento1); $5,00\text{ mg mL}^{-1}$ (Tratamento 2); $7,50\text{ mg mL}^{-1}$ (Tratamento 3) e $10,00\text{ mg mL}^{-1}$ (Tratamento 4).



Determinação dos teores dos metais pesados (Pb, Cu, e Zn) na planta estudada

Os teores de metal pesado foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, para que se pudesse calcular a eficiência de remoção dos metais pesados por parte da planta estudada. A fase líquida foi separada da biomassa por filtração em papel de filtro duplo, armazenada em frascos de polietileno e analisada por Espectrometria de Emissão Atômica com Fonte de Plasma de Argônio Induzido (ICP-AES). Os valores das concentrações finais de metais nas soluções foram subtraídos das concentrações iniciais para o cálculo dos índices q (adaptado de VOLESKY & MAY-PHILLIPS, 1995) e R% (remoção percentual) segundo as equações:

$$q = C_i - C_f / B \quad (1)$$

$$R\% = [(C_i - C_f) 100] / C_i \quad (2)$$

Onde q é a quantidade de metal adsorvido por unidade de biomassa (mg g^{-1}), C_i é a concentração inicial de metal em solução (mg L^{-1}), C_f é a concentração final de metal em solução no equilíbrio (mg L^{-1}), e B é a quantidade de biomassa (g L^{-1}).

Delineamento experimental e análise estatística

Todos os experimentos foram testados com três repetições, sendo obtidas as médias dos resultados e desvio padrão, sendo analisada a significância dos tratamentos através de análise de variância, teste de Tukey–Kramer ou Student, dependendo do caso, através do programa estatístico INSTAT (Rutger University).

Para comparação de médias, foi utilizado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, entre as massas das plantas na instalação e coleta do experimento e entre as concentrações dos metais, encontrados na biomassa seca do aguapé em função dos tratamentos. Também se empregou a correlação de Pearson entre os parâmetros analisados. Para os tempos de amostragem das alíquotas retiradas das soluções, foi utilizada regressão pelo modelo descontínuo Linear Response Plateau – LRP (GONÇALVES JUNIOR et al., 2007).



Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os teores dos metais Pb, Cu e Zn, na biomassa seca do aguapé antes da instalação do experimento. Observa-se que a biomassa seca do aguapé possuía concentrações iniciais de Cu, Zn, Cr e Ni; a presença destes elementos na biomassa seca das plantas de aguapé é comum, não havendo a necessidade de maiores comentários. O fato de não ocorrer a detecção dos metais Cd e Pb na biomassa seca não significa que estes elementos não estejam presentes no tecido vegetal da planta, podendo estar em concentrações abaixo do limite de detecção do método EAA/chama (GBC, 1998).

Tabela 1. Concentração em mg g^{-1} dos metais pesados na biomassa seca do aguapé, antes da instalação do experimento.

	Metais pesados ($\mu\text{g g}^{-1}$)					
	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni
Aguapé	30,00	51,00	ND	ND	10,00	1,00

ND – Não detectado pelo método EAA /Chama (GCB, 1998)

Não foram detectadas concentrações dos metais Cd, Pb, Cr, Cu, Zn e Ni na água utilizada no experimento, porém isto não significa que estes metais não estejam presentes na água, podendo estar em concentrações abaixo do limite de detecção do método utilizado.

Na Tabela 2, estão apresentados os valores da biomassa seca do aguapé nos diferentes tratamentos na finalização e coleta do experimento.



Tabela 2. Massa média da biomassa seca do aguapé, nos diferentes tratamentos.

Massa (g)	Tratamento (mg mL ⁻¹)					CV
	0,00	2,50	5,00	7,50	10,00	(%)
	14,58 ^a	14,53 ^a	14,73 ^a	14,65 ^a	14,52 ^a	1,00

Médias seguidas de mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pode-se observar que não houve diferença estatística entre os tratamentos ($p < 0,05$), significando que não houve decomposição significativa da biomassa seca nos tratamentos. Considerando a massa seca inicial utilizada de 15,00 g, as perdas podem ser consideradas pelas partículas de biomassa seca de tamanho reduzido que ultrapassaram o tecido do saco e se depositaram na solução.

Na Tabela 3, são apresentadas as concentrações de Cu, Pb, e Zn encontradas nos diferentes tratamentos, na instalação (Fase 1) e na finalização do experimento (Fase 2), após 48h.



Tabela 3. Concentração em mg mL⁻¹ dos metais pesados na solução na instalação (Fase 1) e na finalização do experimento (Fase 2), em função dos tratamentos.

Metais	Fase	Tratamento (µg mL ⁻¹)				
		0,00	2,50	5,00	7,50	10,00
Pb	1	0,00	2,53 ^a	5,00 ^a	7,51 ^a	10,00 ^a
	2	0,00	1,70 ^b	3,43 ^b	4,61 ^b	6,79 ^b
	%R	0,00	32,00	32,08	38,53	31,48
Cu	1	0,00	2,46 ^a	5,04 ^a	7,37 ^a	9,80 ^a
	2	0,00	1,80 ^b	3,66 ^b	5,73 ^b	7,74 ^b
	%R	0,00	27,42	27,24	23,60	22,83
Zn	1	0,00	2,56 ^a	5,03 ^a	7,47 ^a	9,82 ^a
	2	0,00	1,34 ^b	2,78 ^b	4,28 ^b	5,79 ^b
	%R	0,00	45,53	44,84	41,93	40,92

%R – Porcentagem de remoção dos metais na solução do experimento; Médias seguidas de mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pode-se observar que houve remoção significativa ($p < 0,05$) dos metais Pb, Cu e Zn pela massa seca do aguapé nos diferentes tratamentos. Na Tabela 6, estão apresentadas as concentrações de Pb, Cu e Zn encontradas na massa seca de aguapé, em função dos diferentes tratamentos com estes metais. Foi obtida interação significativa para todos os elementos ($p < 0,05$).

Pode-se observar ainda, na Tabela 4, que se obteve efeito linear positivo de adsorção ($p < 0,05$) para o metais Pb, ou seja, as concentrações deste metal na biomassa seca do aguapé apresentaram um aumento à medida que as concentrações dos tratamentos também eram maiores.



Tabela 4. Concentração média em $\mu\text{g g}^{-1}$ dos metais Pb, Cu e Zn, na biomassa seca do aguapé na finalização do experimento, em função dos tratamentos.

Concentração

dos Metais ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Tratamento ($\mu\text{g mL}^{-1}$)					CV (%)
	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0	
Pb	0,00 ^a	29,25 ^b	54,00 ^c	151,00 ^d	248,75 ^e	16,16
Cu	21,75 ^a	116,50 ^b	193,25 ^c	263,25 ^d	313,25 ^e	12,25
Zn	48,25 ^a	154,00 ^b	239,25 ^c	341,50 ^d	398,25 ^e	10,91

%R – Porcentagem de remoção dos metais na solução do experimento; Médias seguidas de mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Já para o Cu e o Zn, também houve aumento na concentração dos metais na matéria seca em função dos tratamentos; foram obtidas, porém, médias estatisticamente iguais ($p < 0,05$) apenas nos dois tratamentos que utilizaram as maiores concentrações destes metais (Tratamentos 3 e 4), demonstrando que a capacidade máxima de adsorção destes elementos pela biomassa seca do aguapé pode estar próxima do ponto máximo. Pode-se considerar, dessa forma, que a biomassa seca de aguapé foi eficiente em adsorver e concentrar os metais das soluções preparadas.

Rubio e Schneider (2003), estudando tratamentos em efluentes de indústrias de galvanoplastia, demonstraram a capacidade de troca e retenção de íons Zn e Cu pela biomassa seca do aguapé (*Eichornia crassipes*) chegando a um ponto máximo de adsorção após um fluxo de 900 L de contaminantes. Os autores observaram que, após o ponto de saturação da biomassa seca do aguapé, deve-se efetuar a regeneração ou troca do material sorvente.

Na Tabela 5, estão apresentadas as correlações existentes entre a adsorção pela biomassa seca do aguapé dos metais presentes nas soluções preparadas. Pode-se observar que todos os valores das correlações entre os metais adsorvidos na biomassa seca do aguapé foram positivos e significativos ($p < 0,01$), demonstrando que não há efeito antagônico entre a presença e adsorção entre nenhum dos metais utilizados neste experimento.



Tabela 5. Valores da correlação de Pearson entre a adsorção dos metais presentes nas soluções preparadas.

	Cu	Zn	Pb
Cu			
Zn	0,99*		
Pb	0,91*	0,93*	0,94*

*Significativo a 1% de probabilidade.

Na Figura 3, é apresentado o modelo LRP ($p < 0,05$) para o Zn, em que se obteve o tempo ideal para remoção deste metal no Tratamento 1 ($2,50 \text{ mg mL}^{-1}$), com 33,45h; para os Tratamentos 2 e 3 ($5,00$ e $7,50 \text{ mg mL}^{-1}$), respectivamente, o tempo de máxima remoção de Zn foi o mesmo, com 34,42h; já para o Tratamento 4 ($10,00 \text{ mg mL}^{-1}$), o tempo ótimo de remoção é de 45,58h.

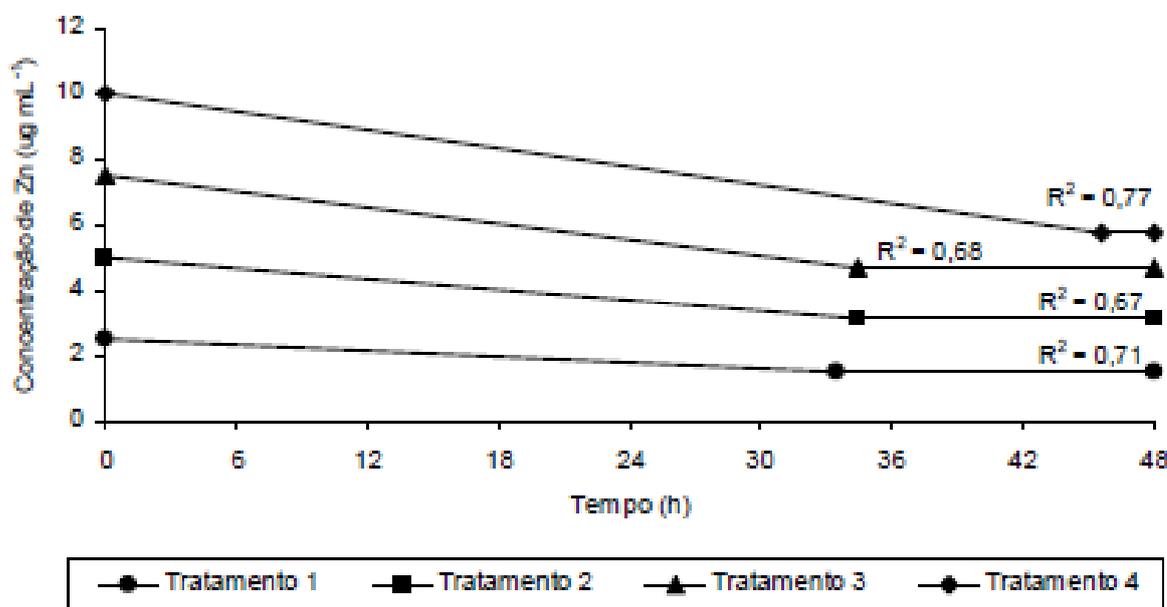


Figura 3. Concentração de Zn nos diferentes tratamentos, em função dos diferentes tempos de amostragem das soluções.

Para o Pb, obteve-se o modelo LRP ($p < 0,05$) nos quatro tratamentos (Figura 4), demonstrando-se que a melhor remoção de Pb em soluções com $2,50 \text{ mg mL}^{-1}$ deste metal ocorre nas primeiras 16,97h. Para o Tratamento 2 ($5,00 \text{ mg mL}^{-1}$), a máxima remoção ocorreu em 8,73h. Já para os Tratamentos 3 e 4 ($7,50$ e $10,00 \text{ mg mL}^{-1}$), o tempo ideal para remoção de Pb da solução foi de 4,36 e 3,39h, respectivamente.

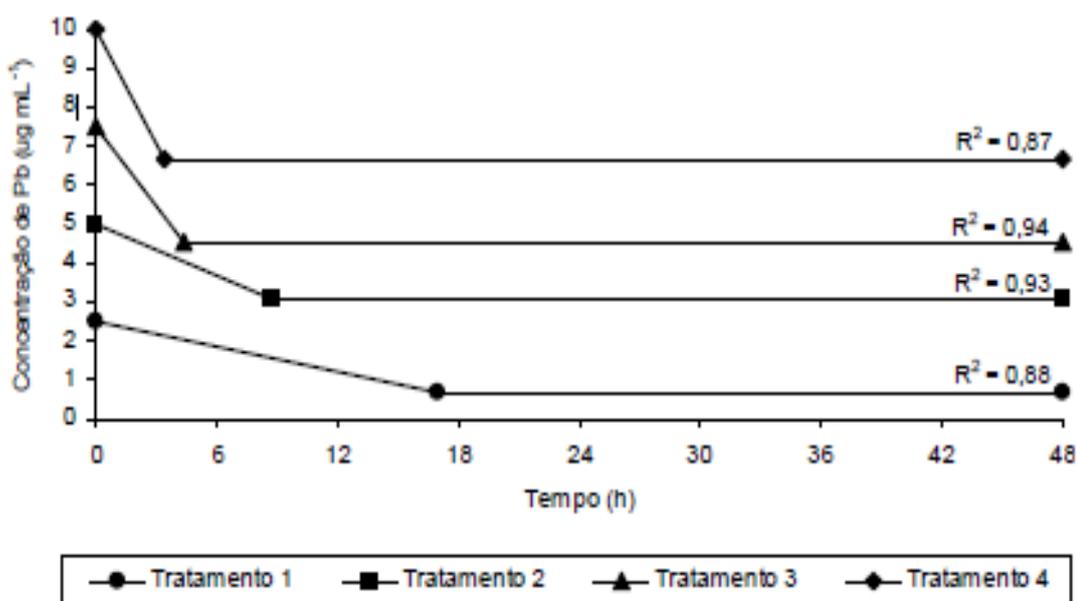


Figura 4. Concentração de Pb nos diferentes tratamentos, em função dos diferentes tempos de amostragem das soluções.

Para o Cu o modelo LRP ($p < 0,05$) demonstra que a ótima remoção deste metal nos diferentes tratamentos ocorre com 42,18; 30,55; 29,58 e 17,45h, respectivamente, para os Tratamentos 1, 2, 3 e 4 (Figura 5).

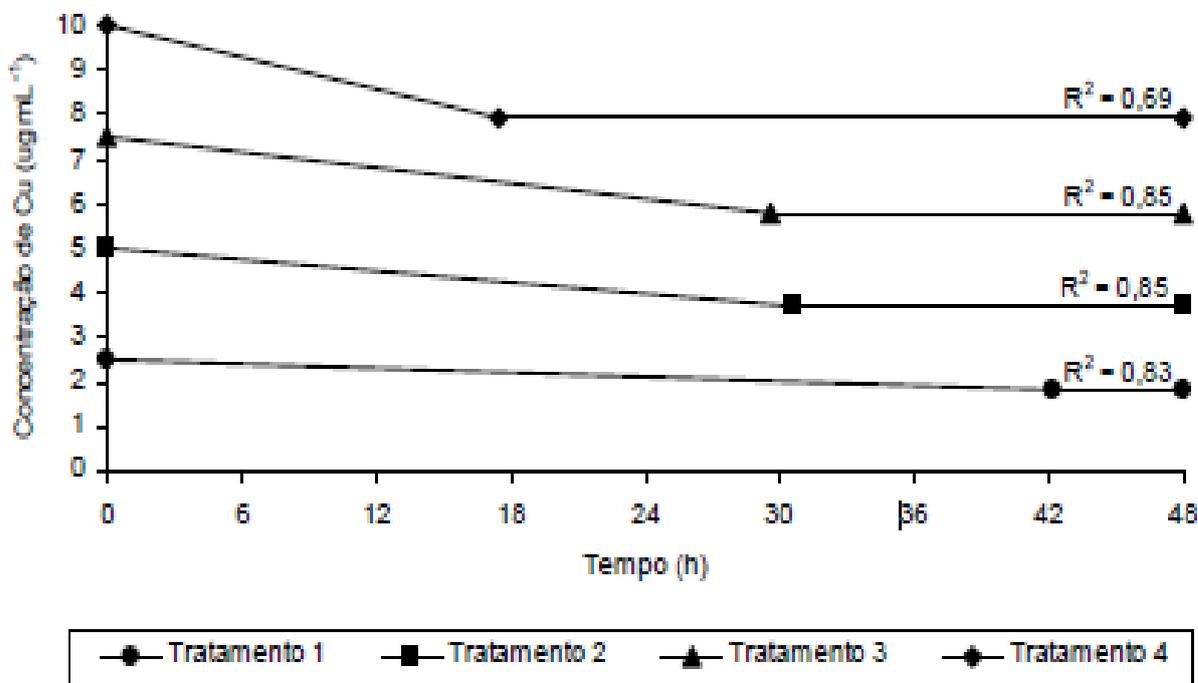


Figura 5. Concentração de Cu nos diferentes tratamentos, em função dos diferentes tempos de amostragem das soluções.

A biomassa seca de aguapé (*Eichornia crassipes*) possui capacidade de adsorção e remoção dos metais Pb, Cu e Zn, em soluções contaminadas. Comprova-se, portanto, que a biomassa seca produzida a partir do aguapé (*Eichornia crassipes*) é um excelente material para a remoção, tanto em pequena como em grande escala, de corpos hídricos contaminados com metais pesados.

Conclusões

A biomassa seca de aguapé (*Eichornia crassipes*) possui capacidade de adsorção e remoção dos metais Pb, Cu e Zn, em soluções contaminadas.

Comprova-se, portanto, que a biomassa seca produzida a partir do aguapé (*Eichornia crassipes*) é um excelente material para a remoção, tanto em pequena como em grande escala, de corpos hídricos contaminados com metais pesados.



Futuramente, é necessário estudar o comportamento de outras macrófitas aquáticas frente a fitorremediação de metais, para que se possa fazer uma comparação quanto ao desempenho obtido nas pela *Eichornia crassipes* nas condições de ensaio, já que há outras plantas tidas como hiperacumuladoras de metais.

Outra sugestão refere-se à aplicação da macrófita para águas que possuem concentrações de metais pesados, como as da Bacia do Rio Tamanduateí, no município de Santo André (SP).

Referências

- AOAC-Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 15. ed. Maryland: AOAC International, 1990. v. 1.
- COELHO, T. Aguapé: bom, bonito e barato. **Ecologia e Desenvolvimento**, v.38, p. 2-4, 1994.
- GBC Scientific Equipment. **Flame methods manual for atomic absorption by GBC Scientific Equipment**. Victoria, 1998.
- GONÇALVES JUNIOR, A. C.; LINDINO, C. A.; ROSA, F. A.; BARICCATTI, R.; GOMES, G. D. Remoção de metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo em biofertilizante suíno utilizando a macrófita aquática (*Eichornia crassipes*) como bioindicador. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 30, n. 1, p. 9-14, 2008.
- GONÇALVES JUNIOR, A. C.; LUCHESE, E. B.; LENZI, E. Avaliação da fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e cromo em soja cultivada em Latossolo Vermelho escuro tratado com fertilizantes comerciais. **Química Nova**, v. 23, n. 2, p. 173-177, 2000.
- GONÇALVES JUNIOR, A. C.; POZZA, P. C.; NACKE, H.; LAZZERI, D. B.; SELZLEIN, C.; CASTILHA, L. D. Homogeneização e níveis de metais em dejetos provenientes da bovinocultura de leite. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 29, n. 2, p. 213-217, 2007.
- OLIVEIRA, J. A.; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A. Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de aguapé e salvinha. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 3, p. 329-341, 2001.
- PEGORINI, E. S.; CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C. V. Mananciais de Abastecimento Público. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. (Ed.). Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados. 1. ed. Curitiba: Sanepar, 2005. cap. 1, p. 4-82. **Revista Química e Derivados**, 2003, Vol.7, no 417.



Revista Hipótese



ISSN: 2446-7154

RUBIO, J.; SCHENEIDER, I. A. H. **Plantas aquáticas: adsorventes naturais para a melhoria da qualidade das águas**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. (XIX Prêmio Jovem Cientista).

TÜZEN, M. Determination of heavy metals in fish samples of the middle Black Sea (Turkey) by graphite furnace atomic absorption spectrometry. **Food Chemistry**, v. 80, n. 1, p. 119-123, 2003.

VOLESKY, B.; MAY-PHILLIPS, H. A. Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisia*. **Applied and Microbiology and Biotechnology**, January, Volume 42, Issue 5, pp 797-806, 1995.

WELZ, B. **Atomic absorption spectrometry**. Weinheim: VCH, 1985.

ZHU, Y.; ZAYED, A.M.; QIAN, J.H.; SOUZA, M.; TERRY, N. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: II. Water hyacinth. **Journal of Environmental Quality**. v.28, p.339-344, 1999.