



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

REMOÇÃO DE CHUMBO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA RECICLADORA DE BATERIAS AUTOMOTIVAS PELA MACRÓFITA AQUÁTICA *Eichhornia crassipes*

Marlise Schoenhals¹; Vanderlei Abele de Oliveira²; Franciele Aní Caovilla Follador³

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de absorção de chumbo pela macrófitas aquática *Eichhornia crassipes*, no tratamento do efluente de uma indústria recicladora de baterias automotivas situada no município Paula de Freitas – PR. Para tanto foi otimizada a relação da massa verde de aguapé úmido por volume de solução e, em seguida o método foi empregado no tratamento do efluente industrial. Os resultados permitiram concluir que a eficiência da absorção de chumbo e outros metais pesados (Fe, Cu, Zn e Cr) depende diretamente da massa de aguapé úmido (g) por volume de solução (L) sendo que, 40 e 50 g L⁻¹ foram as relações mais eficientes, apresentando resultados equivalentes em efluentes contendo até 30 mg L⁻¹ de contaminante. Fatores como pH e temperatura, nos intervalos de valores analisados, não tiveram influência significativa. Para o tratamento de efluentes contaminados com chumbo de pequenas e médias indústrias que reciclam baterias automotivas, a utilização do aguapé é viável nas condições otimizadas. Faz-se necessário um estudo apurado para definição da melhor alternativa de tratamento/disposição final da biomassa de aguapé após o tratamento do efluente.

Palavras-chave: casa de vegetação, compostagem, lagoa de estabilização, metal pesado.

LEAD REMOTION OF AUTOMOTIVE BATTERIES RECYCLING INDUSTRY WASTEWATER BY THE AQUATIC MACROFIT *Eichhornia crassipes*

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the efficiency of the lead absorption by the aquatic macrofit *Eichhornia crassipes* in the wastewater treatment of an automotive batteries recycling industry located at county of Paula de Freitas, state of Paraná, Brazil. For that, the relation of humid green mass of water hyacinth by solution volume was optimized and, in follow the method was employed in the industrial wastewater treatment. The results permitted to conclude that the lead and other metals (Fe, Cu, Zn e Cr) absorption efficiency depends straightly of the water hyacinth mass (g) by solution volume (L), being 40 and 50 g L⁻¹ the more efficient relations showing equivalent results in wastewaters containing until 30 mg L⁻¹ of contaminant. Factors as pH and temperature in the analyzed values no had an expressive influence. For the treatment of wastewater contaminated by lead of the small and mean industries which recycle automotive batteries, the utilization of water hyacinth is practicable in the optimized conditions. It's necessary a refined study for the definition of the best alternative of treatment/final disposal of the water hyacinth biomass after the wastewater treatment.

Key-words: green house, composting, stabilization lagoon, heavy metal.

Trabalho recebido em 10/03/2009 e aceito para publicação em 12/04/2009.

¹ Mestre em Engenharia Química –UFSC, Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Campo Mourão BR 369 - km 0,5 - CEP: 87301-006 - Caixa Postal: 271 - Fone/Fax: (44) 3523 4156 marlise.hals@yahoo.com.br.

² Químico –UNICS –Universidade Católica do Sudoeste do Paraná. francaovilla@hotmail.com

³ Doutoranda em Engenharia Agrícola –UNIOESTE. francaovilla@yahoo.com.br.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os metais pesados, o chumbo é um dos mais utilizados industrialmente e nenhum outro metal tem sido estudado tão intensivamente do ponto de vista toxicológico como epidemiológico, existindo vasta literatura que demonstra de modo claro o amplo espectro de efeitos nocivos para a fauna, a flora e a espécie humana (ANDRADE, 2001).

O chumbo afeta praticamente todos os sistemas do corpo humano. Provavelmente o efeito nocivo mais importante seja o decréscimo na capacidade de aprendizado e desenvolvimento neurológico em crianças, a concentrações, no sangue, superiores a $15 \mu\text{g Pb L}^{-1}$, e dados mais recentes indicam que podem ocorrer efeitos adversos abaixo de $10 \mu\text{g Pb L}^{-1}$. Assim, a Organização Mundial da Saúde (OMS), sugere que o limite aceitável de chumbo na água potável seja de $50 \mu\text{g Pb L}^{-1}$ (0,05 ppm).

Andrade (2001) afirma que o Saturnismo, doença causada pela exposição crônica ao chumbo, apresenta os seguintes sintomas: alterações da conduta, cólica, paralisia facial, anemia leve, inibição da função renal, arteriosclerose, hemólise, constipação, convulsões adormecimento das extremidades, hipertensão, câibras, degeneração de

nervos e músculos, atrofia óptica, encefalopatia, esterilidade em ambos os sexos, abortos, más formações, dores de cabeça, visão confusa e afasia. Em casos de intoxicação aguda por exposição a concentrações muito elevadas de chumbo (entre 30 e $90 \mu\text{g Pb dL}^{-1}$ de sangue os efeitos incluem gastroenterite aguda, irritação da faringe, dor no epigástrico, vômito, diarreia e choques. Em casos muito extremos (intoxicação grave) pode ocorrer até a morte.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), através de sua Resolução 257 de em 1999 (CONAMA, 1999), definiu que as pilhas e baterias que contenham em suas composições chumbo, cádmio, mercúrio e seus compostos, necessárias ao funcionamento de quaisquer tipos de aparelhos, veículos ou sistemas, móveis ou fixos, bem como os produtos eletro-eletrônicos que as contenham integradas em sua estrutura de forma não substituível, após seu esgotamento energético, devem ser entregues pelos usuários aos estabelecimentos que as comercializam ou à rede de assistência técnica autorizada pelas respectivas indústrias, para repasse aos fabricantes ou importadores. Posteriormente, estes devem adotar diretamente, ou por meio de terceiros os procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final ambientalmente adequada.

Andrade (2001) afirma que o Brasil não possui reservas significativas do minério chumbo, a produção anual de sulfeto de chumbo é da ordem de 10.000 toneladas e o país recorre à importação. Desde a desativação, em 1995, da Plumbum Mineração e Metalurgia S/A, o Brasil não mais produz chumbo primário, apenas chumbo secundário decorrente da reciclagem principalmente de baterias automotivas. Porém, há necessidade de que o processo de reciclagem seja executado de forma segura e os efluentes gerados no processo sejam adequadamente tratados antes de serem despejados nos corpos hídricos, pois de acordo com Oliveira et al. (2001), Machado (2003) e Martins et al. (2005) apud Gonçalves (2006) dentre as várias formas de contaminação do meio ambiente resultante das diversas atividades industriais e agrícolas, a da água com metais pesados tem sido uma das que tem trazido mais preocupação aos pesquisadores e órgãos governamentais envolvidos no controle da poluição, sendo objeto de interesse a detecção de possíveis fontes de contaminação, as quais possam e devam ser tratadas de forma a permitir a sua descontaminação.

Diversos processos podem ser aplicados no tratamento de efluentes contendo metais pesados, tais como a precipitação química, evaporação, extração com solventes, a flotação, processos com

membranas e os processos de sorção, sendo o método mais comumente empregado, a precipitação química. Embora este último método seja relativamente simples e econômico, gera um grande volume de lodo e pode apresentar concentrações residuais de metais acima das normas de lançamento vigentes, sendo necessária a aplicação de um processo complementar para o polimento final do efluente.

Além disso, a precipitação é ideal para efluentes contendo altas concentrações de metais, acima de 100 mg L⁻¹. Em concentrações diluídas o precipitado apresenta baixa cinética de sedimentação, obrigando a adição extra de outros sais (FeCl₃ e Al₂(SO₄)₃) ou de polieletrólitos.

Por outro lado, autores como Reddy et al. (1983), Knight et al. (1999), Warwick & Broch (2003) e Mangabeira et al. (2004) apud Gonçalves (2006) definem que várias espécies de vegetais aquáticos podem ser utilizadas como alternativa para contribuir para a despoluição de ambientes aquáticos.

Trabalhos recentes mostram que a biomassa de macrófitas aquáticas possui uma alta capacidade de acumular íons metálicos (SCHNEIDER e RUBIO, 1999). Segundo Zhu et al. (1999), Del Bubba et al. (2003) e Meuleman et al. (2004), as

áreas úmidas e, conseqüentemente, as macrófitas aquáticas, são consideradas “áreas de depuração”, tendo em vista que absorvem com grande eficiência os elementos contidos no seu meio, no caso a água.

Do ponto de vista de definição de macrófitas aquáticas, conforme Irgan e Gastal (1996) apud Gonçalves (2006), elas tem suas partes fotossintetizadoras permanentemente, ou por diversos meses todos os anos, total ou parcialmente submersas em água doce ou salobra, ou ainda podendo ser flutuantes na mesma, sendo que estão presentes em todos os ecossistemas aquáticos, variando somente a composição entre si. Ainda de acordo com Irgan e Gastal (1996) apud Gonçalves (2006) normalmente as plantas aquáticas tem uma distribuição mais ampla do que a maioria das plantas terrestres, fato decorrente da pequena variação sofrida pelos fatores do ambiente aquático, o que possibilita às macrófitas aquáticas uma ampla distribuição fitogeográfica, possibilitando o aparecimento de muitas espécies cosmopolitas. Soma-se a isso a grande variedade de formas biológicas que as macrófitas aquáticas podem apresentar, variando de acordo com Pott e Pott (2000) desde anfíbias até epífitas.

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.

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).

Existem diversas aplicações para a macrófita. Dentre as alternativas citadas, merecem destaque: ração animal, fonte de proteína para o homem, utilização agrícola como suprimento de macro e

micronutrientes e cobertura orgânica, compostagem e fonte de polpa para fabricação de papel e compensados, na obtenção de concentrados protéicos a baixo custo, produção de biogás e o emprego direto como combustível.

Entretanto, é a utilização de *Eichhornia crassipes* no tratamento de esgotos domésticos e águas residuárias industriais têm despertado maiores interesses em função de sua capacidade de remoção de poluentes, agindo como um filtro natural. Estudos como os de Farahbakhshazad et al. (2000) e Chandra e Kulshrethta (2004) vêm comprovando a eficiência de macrófitas aquáticas no tratamento de efluentes.

Neste sentido, segundo Hussar & Bastos (2008), visando amenizar os impactos ambientais é que se buscam cada vez mais alternativas mitigadoras onde se deve levar em consideração o custo e a disponibilidade sem esquecer-se de atender a todas as legislações ambientais. Desta forma, este trabalho objetivou avaliar a eficiência da macrófita *Eichhornia crassipes* na remoção de chumbo presente no efluente oriundo do processo de fundição de sucata de chumbo, por se tratar de um material comprovadamente eficaz no tratamento de diversos efluentes, viável economicamente e de grande disponibilidade no país.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma indústria localizada no município de Paula de Freitas - PR, a qual reaproveita o chumbo das baterias automotivas para produção de lingotes de chumbo. A seguir é realizada uma breve descrição do processo.

As baterias que chegam à indústria são abertas para separar o chumbo da embalagem (sucata de plástico), que representa em média 10% em peso e é destinada para uma indústria recicladora de plástico. A grande maioria das baterias não contém solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4), nas que contém, o líquido é drenado e adequadamente conduzido à Estação de Tratamento de Efluentes (ETE).

A sucata de chumbo é fundida em um reator batelada, com capacidade para 2.200 kg de sucata, sendo que, para cada batelada, são adicionados 330 kg de cavaco de ferro, 60 kg de carvão e 10 kg de cal, resultando em uma produção aproximada de 1.600 kg de chumbo em lingotes (chumbo com impurezas) prontos para a comercialização.

Os resíduos do processo de fundição são a escória (pedaços maciços de impurezas), cinzas e gases, sendo estes últimos, conduzidos para a chaminé e posteriormente para a estação de tratamento de emissões atmosféricas.

São utilizados 1.000 L de água para o processo industrial, em circuito fechado, para resfriamento e lavagem dos equipamentos. O efluente do processo necessita de tratamento por ser ácido e conter chumbo. Na ETE o efluente é neutralizado e encaminhado para lagoa de estabilização. A Figura 1 apresenta o fluxograma do processo industrial.

Coleta das Plantas

A coleta das plantas foi feita seguindo um mesmo padrão (tamanho, idade e número de folhas). Após a coleta, as plantas foram lavadas para eliminar lodo e outros materiais aderidos às raízes e, em seguida, levados à Casa de Vegetação e colocadas em recipientes de 40 L contendo solução nutritiva de Hoagland e Arion na proporção de 1:50, por um período de climatização de 5 dias (LENZI et al., 1994).

Otimização da massa verde de *Eichhornia crassipes*

Para otimizar a massa verde de aguapé úmido em gramas (g) por volume de solução (L) que seria utilizada para o tratamento do efluente, estudou-se o comportamento de diferentes relações, utilizando solução sintética de Pb (NO₃)₂ (nitrato de chumbo), sendo elas: 20 g L⁻¹, 40 g L⁻¹ e 50 g L⁻¹. As concentrações de Pb

(NO₃)₂ em cada experimento foram de 10, 15, 30, 60 e 120 mg L⁻¹, respectivamente (SANTOS e LENZI, 2000).

Após o início do experimento, o monitoramento e a coleta das amostras da solução Pb(NO₃)₂ foram feitas num intervalo de 3 horas (durante as primeiras 12 horas) e as 24, 48 e 72 horas posteriores, registrando-se em cada coleta a temperatura, o pH e o oxigênio dissolvido (OD). As amostras foram colocadas em frascos de vidro adicionando-se HNO₃ para a conservação, na proporção de 10 mL por litro de solução, ou até atingir pH<2 (KEITH, 1996). As leituras das amostras foram efetuadas diretamente em espectrômetro de absorção atômica, modalidade de chama (Varian, Spetra AA 10 Plus).

Amostragem das plantas

As plantas foram retiradas do recipiente e deixou-se escorrer a água em peneira plástica sobre um vaso. As plantas úmidas foram pesadas e, após isso, as mesmas eram guardadas em sacos de papel, anotando possíveis sintomas de intoxicação pelo contaminante. As macrófitas permaneceram em estufa a 60°C por 3 dias, depois de secas, todas as amostras foram pesadas e trituradas em moinho de facas.

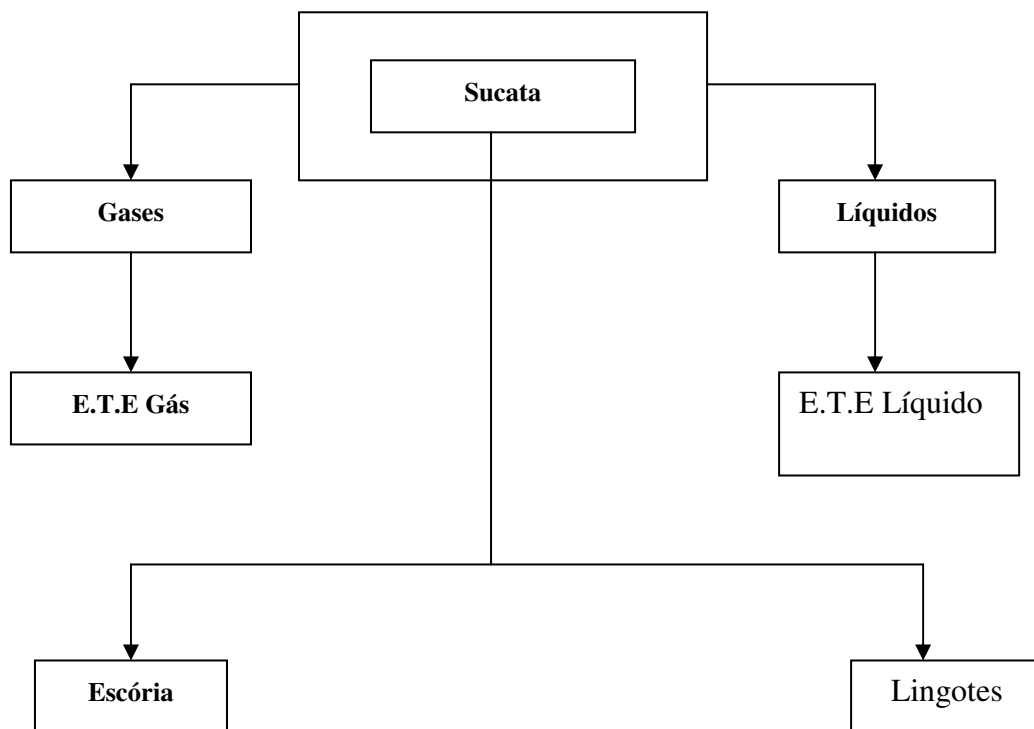


Figura 1. Fluxograma do processo de fundição de sucata de chumbo.

Alíquotas foram digeridas em solução de HNO_3 concentrado com adição de ácido perclórico (GORSUCH, 1959). Após a digestão nitroperclórica, transferiu-se a solução para um balão volumétrico de 50 mL e as leituras foram efetuadas em espectrômetro de absorção atômica de chama.

Aplicação do método ao efluente industrial

Após a otimização da relação massa de aguapé úmido por volume de solução em litros, o método foi aplicado na despoluição do efluente do processo de produção de lingotes de chumbo. O efluente foi coletado no tanque à montante da lagoa de estabilização. No laboratório, foi medido o pH e analisados os principais

componentes químicos. O efluente foi neutralizado ($\text{pH}=7$) e, à medida que a neutralização ocorria, sua coloração ficava escura com o aparecimento de cristais na solução e quando foi atingido o pH 7, a solução ficou com uma coloração marrom-clara. Depois de aproximadamente 1 hora formou-se um precipitado marrom no fundo do recipiente e o sobrenadante ficou incolor. O efluente foi filtrado e analisou-se o precipitado, cuja abertura foi feita através de digestão nitro-perclórica e as leituras efetuadas no espectrômetro de absorção atômica, modalidade chama. A análise da solução sobrenadante foi efetuada diretamente pelo mesmo método. A Figura 2 apresenta o fluxograma de análise das amostras.

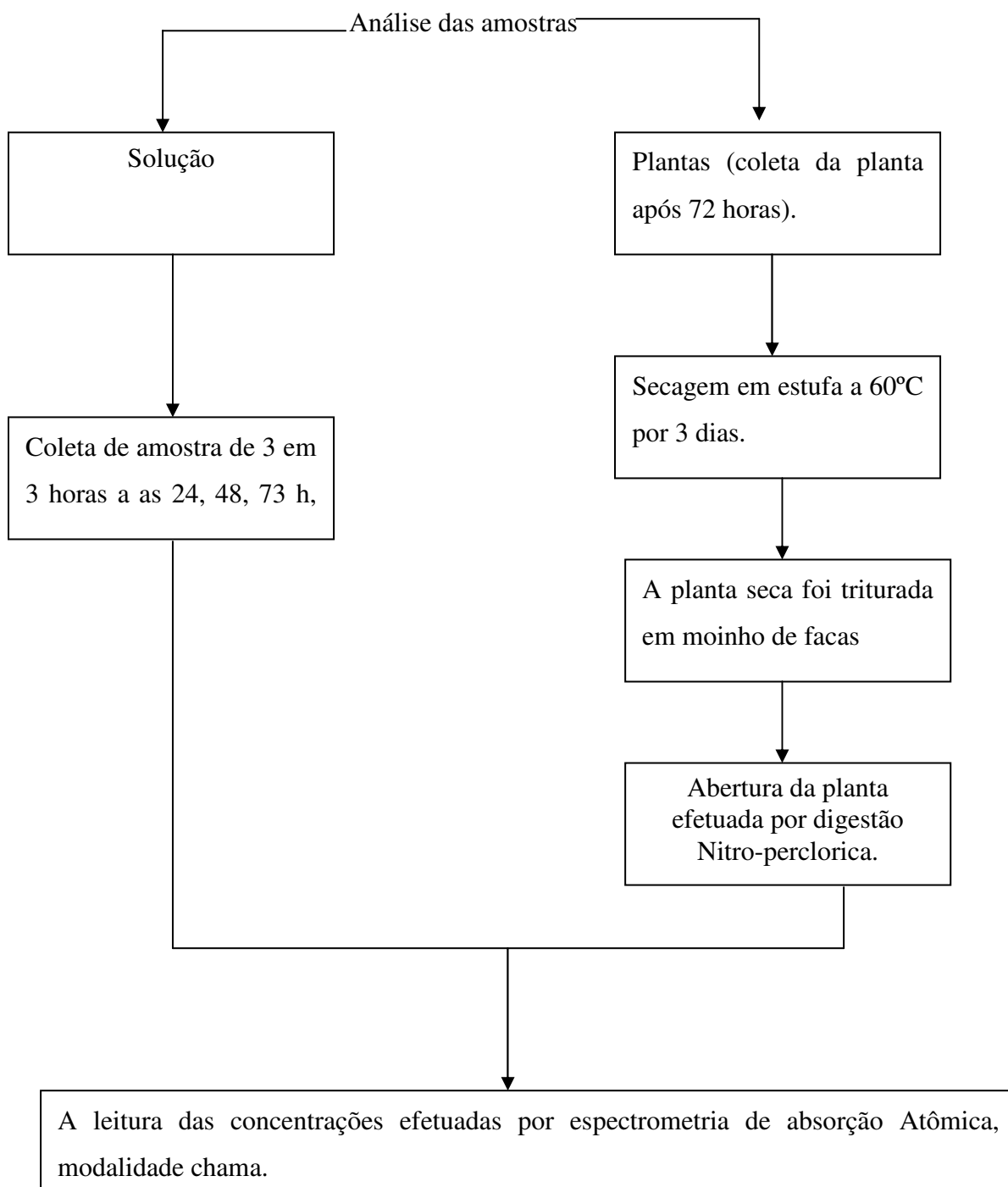


Figura 2. Fluxograma de análise das plantas e dos efluentes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Variáveis otimizadas – Absorção de chumbo pela *Eichhornia crassipes*

A Figura 3 mostra os resultados da absorção de chumbo pelo aguapé numa solução de $Pb(NO_3)_2$ contendo 10, 15, 30, 60 e 120 mg L^{-1} , respectivamente.

Observando a Figura 3, nota-se que as relações 5 e 10 gramas de aguapé úmido por volume de solução em litros não são eficientes, pois as plantas começam a saturar em torno de 8 e 12 mg L^{-1} de chumbo, respectivamente. A relação 20 gramas de aguapé úmido por volume de solução em litros, também não apresenta um rendimento significativo, tendo seu ponto de saturação em torno de 26 mg L^{-1} de chumbo. As relações que apresentam melhores resultados são aquelas entre 40 e 50 gramas de aguapé úmido por volume de solução em litros. Também nota-se que os resultados das duas relações são praticamente equivalentes até 30 mg L^{-1} de chumbo, após essa concentração a relação 50 apresenta melhores resultados. O ponto de saturação das plantas, para as relações 40 e 50 gramas de aguapé úmido por volume de solução em litros, está em torno de 36 e 47 mg L^{-1} de chumbo, respectivamente.

Mukherjee (1995), estudando a absorção de chumbo pelo aguapé, na faixa

de $0,5\text{-}10\text{ mg L}^{-1}$ de contaminante, obteve em seus resultados 85-92% de remoção de chumbo para um tempo de retenção de 10 dias e pH entre 7 e 7,5. Akcin et al. (1994), estudando a absorção de chumbo pelo aguapé na faixa de 1-128 ppm, observaram que a remoção de chumbo pelo aguapé diminuía à medida que a concentração de chumbo aumentava, principalmente na faixa acima de 45 ppm.

3.2. Absorção de metais pesados do efluente da indústria recicladora de baterias

A Tabela 1 apresenta os resultados da constituição química do efluente (pH 2,72) coletado na indústria e a Tabela 2, após a correção do pH para 7.

A concentração de íons hidrogênio ou pH influencia muitas transformações bioquímicas, pois ela afeta o equilíbrio das formas de ácidos e bases ionizadas e não ionizadas, além de controlar a solubilidade de muitos gases e sólidos (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Observando a Tabela 2 percebe-se que após a correção do pH em laboratório para 7, a concentração do chumbo no efluente continua alta, para o mesmo ser descartado num corpo d'água.

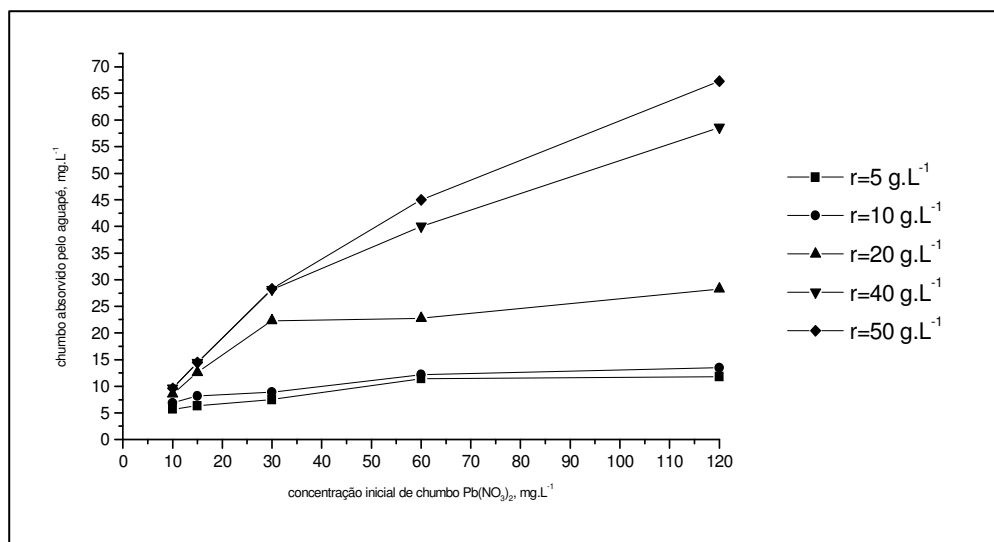


Figura 3. Absorção de chumbo pelo aguapé após 12 horas, em diferentes concentrações.

Tabela 1. Constituição química do efluente (pH~2)

| Elemento químico | Concentração inicial (mg L ⁻¹) | Elemento químico | Concentração inicial (mg L ⁻¹) |
|------------------|--|------------------|--|
| Ferro | 33,69±0,10 | Arsênio | 4,26±0,89 |
| Cobre | 0,525±0,22 | Selênio | 6,42±0,55 |
| Zinco | 1,200±0,15 | Prata | 0,105±0,32 |
| Manganês | 1.021±0,03 | Cromo | 5,65±0,89 |
| Magnésio | 3,11±0,15 | Cádmio | 0,131±0,65 |
| Potássio | 9,29±0,36 | Mercúrio | não detectado |
| Cálcio | 8,72±0,22 | pH | 2,95±0,25 |
| Sódio | 702,41±0,45 | Chumbo | 15,44±0,09 |

Tabela 2. Concentração de metais pesados no efluente (pH=7).

| Elemento químico | Sobrenadante) Resíduo | |
|------------------|------------------------------------|------------|
| | ----- (µg mL ⁻¹) ----- | |
| Ferro | 9,32±0,07 | 23,37±0,94 |
| Cobre | 0,30±0,12 | 0,91±0,36 |
| Zinco | 1,114±0,36 | 0,021±0,51 |
| Cromo | 0,021±0,45 | 4,12±0,25 |
| Chumbo | 8,65±0,87 | 6,09±0,08 |

Segundo a Resolução no 357 do CONAMA de 2005 (CONAMA, 2005), a qual 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, aplicam-se às águas doces de classe 2 os seguintes limites: pH entre 6-9 e chumbo total 0,01 mg Pb L⁻¹. Os efluentes, de qualquer fonte poluidora, somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedçam às seguintes condições: pH entre 5 a 9 e limite de chumbo total de 0,5 mg Pb L⁻¹. Desta forma, conforme os dados apresentados na Tabela 2, o efluente não pode ser descartado sem o prévio tratamento, pois apresenta pH ácido e concentração de Pb acima dos valores permitidos, respectivamente.

Não houve variação significativa do pH da solução, permanecendo em todos os experimentos na faixa de 6 a 7 (Figura 4). Diversos autores estudaram a ação da temperatura e do pH no crescimento das plantas, contudo, os parâmetros apresentados possuem uma ampla faixa na qual o comportamento tem sido satisfatório (LEE e HARDY, 1987; RAY e WHITE, 1976). Jamil et al. (1987) citaram o pH entre 6 e 7 e temperatura variando entre 25°C a 35°C como a faixa ótima para a atuação da planta. Contudo, em condições

aproximadas de nutrição, a macrófita pode sobreviver numa faixa de pH variando de 4,4 a 9,9.

Na Figura 5 pode-se analisar os resultados da absorção de metais pesados contidos no efluente da indústria pela *Eichhornia crassipes*. Segundo Roquete Pinto et al. (1992) apud Hussar & Bastos (2008), a ação despoluidora do aguapé pode ser realizada através de quatro mecanismos: a) a ação filtrante, com suas raízes exuberantes como cabeleiras, nas quais a planta retém o material particulado em suspensão como argila e partículas orgânicas; b) absorção, através de suas raízes, pois o aguapé absorve dos corpos de água poluídos metais pesados (Ag, Pb, Hg, Cd, Cu, Zn, Mn e Fe), compostos organoclorados, organofosforados e fenóis; c) oxigenação, através de sua parte aérea, pois o aguapé transfere o oxigênio do ar para o corpo hídrico, oxigenando a massa de água; d) ação bioquímica, pois as raízes das plantas flutuando, nas águas poluídas com nutrientes, desenvolvem um ecossistema dinâmico e complexo onde além a absorção de nutrientes pela planta se processa também uma intensa atividade bacteriana. Estas bactérias promovem a oxidação biológica dos compostos orgânicos degradáveis abaixando a DBO e a DQO, índices indicadores de poluição orgânica.

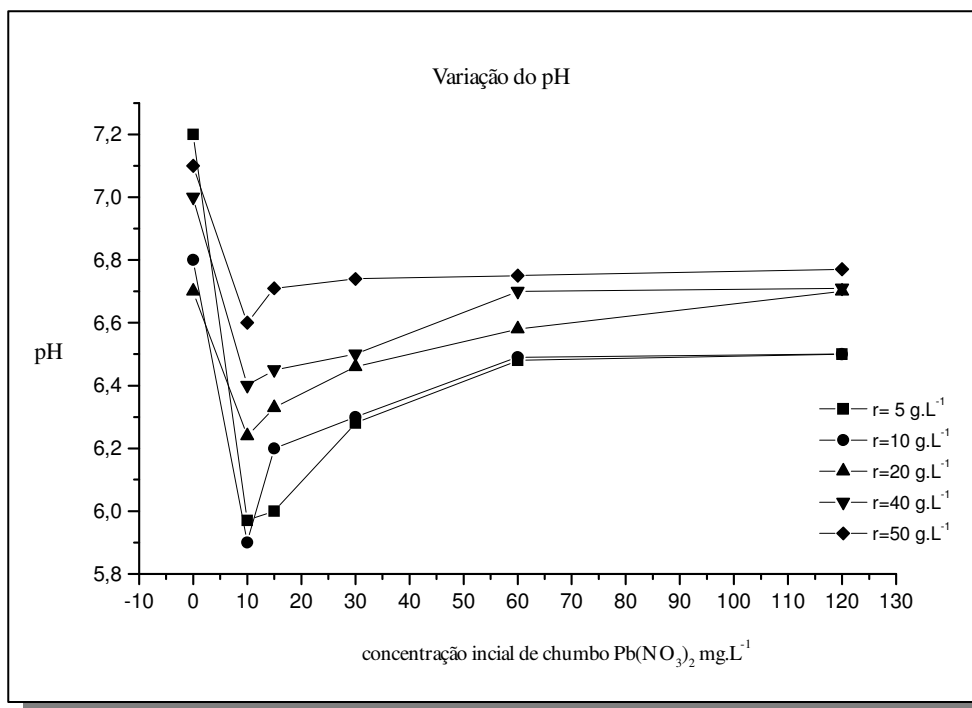


Figura 4. Variação do pH da solução no decorrer do experimento.

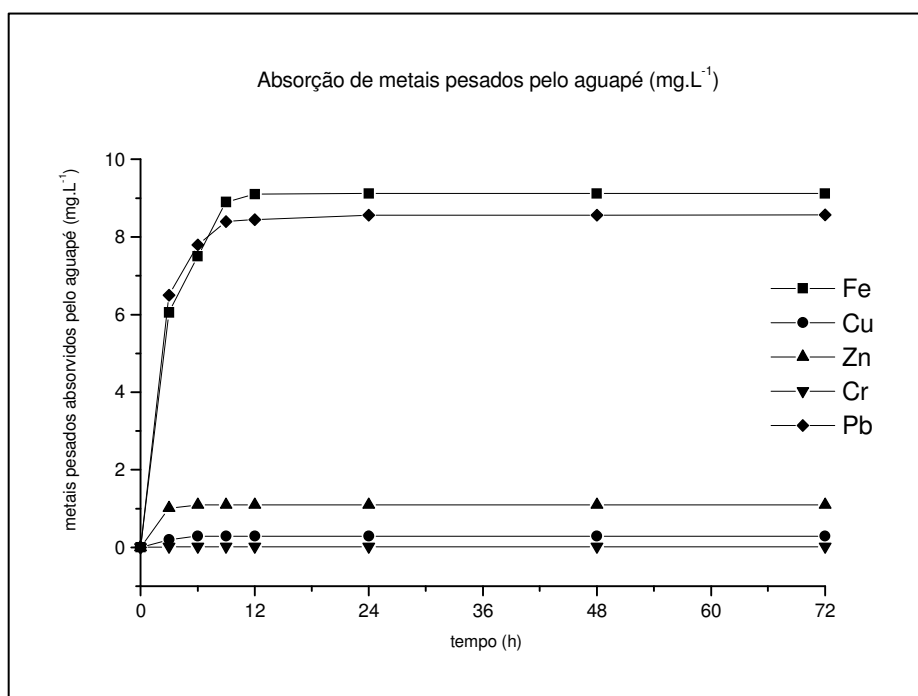


Figura 5. Absorção de Pb, Fe, Cu, Zn e Cr contidos no efluente da indústria pela *Eichhornia crassipes* $mg.L^{-1}$.

Analisando a Figura 5, é possível notar que em torno de 12 horas, praticamente 85% dos metais pesados do efluente foram absorvidos pelo aguapé. Para o chumbo, que é o principal poluente de uma indústria de baterias automotivas, nota-se que a *Eichhornia crassipes* tem uma eficiência significativa, absorvendo praticamente 95% do chumbo do efluente após 9 horas. Também nota-se que a presença de Fe, Cu e Cr não influenciaram significativamente a absorção do chumbo pela planta. Diversas são as pesquisas para obter dados quanto ao comportamento da macrófita para grupos de elementos ou um único elemento poluente dos chamados metais pesados (BLAKE et al., 1987; FAJARDO, 1985). Outras pesquisas efetuadas por DELGADO et al. (1993) mostraram que o aguapé é eficiente na absorção de chumbo, mesmo na presença de outros metais pesados, principalmente de Zn, Cr, Cd e Fe. LEE e HARDY (1987) concentraram seus estudos na remoção de cobre, relacionando como parâmetros o pH, concentração de metais, presença de complexos, massa da raiz, volume da solução. Os resultados demonstraram uma habilidade muito grande da planta em remover o íon cobre. Quanto à presença de complexos, os resultados indicam que somente o cobre livre é removido da solução. Quanto à presença de outros íons no caso Cd^{2+} e Hg^{2+} , a planta apresentou o

mesmo comportamento, removendo todos os íons. Jamil et al. (1987), estudando misturas de soluções Cu-Fe (pH 2,7), Cu-Cd (pH 5,9), Cu-Zn (pH 3,1) e Cd-Cr (pH 5,2) concluíram que a remoção desses metais através da absorção pelo aguapé pode ser duplamente vantajosa. Além de reter esses metais ocorre uma eventual neutralização da solução.

3.3. Sintomas de intoxicação das plantas

Através da espectroscopia fotoacústica, Saumen e Gunale (1989) detectaram os efeitos do chumbo no metabolismo do aguapé e constataram que o mesmo afeta, principalmente, a atividade das enzimas, as quais têm papel fundamental no metabolismo celular e na biossíntese de alguns compostos importantes, como a clorofila.

Neste trabalho, o primeiro sinal de intoxicação das plantas foi observado quando as folhas começaram a amarelar (20 dias) e com o passar do tempo adquiriram uma tonalidade escura como se secassem, isto é, clorose evoluindo para necrose (LENZI et al., 1994). As plantas que não foram contaminadas com chumbo (testemunha) começaram a apresentar esses sintomas a partir de 30 dias, supostamente pela falta de nutrientes.

Chindhade et al. (1981) usaram altas concentrações de chumbo para avaliar o

efeito nas plantas num período de 72 h. Os resultados mostraram que mesmo a planta absorvendo altas concentrações de chumbo não sofreu nenhum efeito adverso nesse período.

3.4. Planta piloto para o tratamento do efluente da indústria

Pelos dados obtidos é possível propor um modelo genérico para o tratamento do efluente de uma indústria de baterias automotivas.

A Figura 6 mostra o fluxograma de um possível processo de tratamento de efluentes de indústria de baterias utilizando lagoa com o aguapé. O tratamento consta de um tanque para neutralização do efluente, um decantador para separação dos flocos formados durante a neutralização do efluente e a lagoa contendo os aguapés.

O decantador para efluentes de fácil sedimentação, e que não sejam em fluxo contínuo, isto é, que opere em sistema de batelada, pode ser do tipo convencional, o qual recebe o efluente já floculado e que apenas processa a sedimentação (GOMIDE, 1980). A tendência moderna é conservar o decantador tão simples e pequeno quanto possível, para reduzir custos na indústria. O decantador cônico é um desses modelos, pois é de fácil operação (PERRY, 1980).

Quanto ao dimensionamento da lagoa, segundo Gabardo (1987), esta deve ter uma profundidade em torno de 0,50 a 0,70 m, para se obter grande eficiência no tratamento de efluentes utilizando aguapé.

Em relação à biomassa de aguapé a ser descartada após o tratamento, Gomes et al. (1987), nos seus estudos realizados na CETESB, concluíram que os aguapés podem ser facilmente transformados em composto, sendo que os limites de metais pesados para o uso de lodo biológico como composto agrícola fixados pela Empresa de Saneamento do Paraná - SANEPAR são: Zn: 2.500 mg kg⁻¹, Cu: 1.000 mg kg⁻¹, Ni:300 mg kg⁻¹, Cr: 1.000 mg kg⁻¹, Cd:20 mg kg⁻¹, Pb:750 mg kg⁻¹ (SANEPAR apud PROSAB, 1999).

A possibilidade de contaminação das plantas e do lençol freático, devido a utilização de resíduos orgânicos contendo metais pesados, é uma das principais preocupações da humanidade, considerando que seu comportamento químico no solo é bastante complexo e influenciado por diferentes tipos de reações, tais como adsorção, complexação, precipitação, oxidação e redução, que definem a biodisponibilidade desses elementos para as plantas, a solubilidade e lixiviação nos solos e, conseqüentemente, o seu potencial de risco para a saúde humana e para o meio ambiente.



Figura 6. Fluxograma do sistema de tratamento proposto para o efluente da indústria recicladora de baterias de chumbo.

Alguns autores afirmam que a compostagem favorece o controle da toxicidade dos metais pesados, pois na fase de maturação ocorre a formação de húmus. De modo geral, os critérios para a definição de limite dos teores de metais pesados no composto devem considerar a qualidade do composto produzido, o uso que se pretende dar ao composto, além de levar em conta o tipo de solo, cultura, clima e todas as relações e equilíbrios dinâmicos envolvidos, a curto, médio e longo prazo.

Assim sendo, são necessários estudos mais apurados para avaliar a uma alternativa viável para a biomassa gerada

no tratamento do efluente da indústria de reciclagem de baterias.

4. CONCLUSÃO

A eficiência da absorção de chumbo e outros metais pesados (Fe, Cu, Zn e Cr) pelo aguapé depende diretamente da relação massa de aguapé úmido (g) por volume de solução (L). As relações 40 e 50 gramas de aguapé úmido por volume de solução foram mais eficientes, e tiveram resultados equivalentes em efluentes contendo até 30 mg L^{-1} de contaminante.

Fatores com pH e temperatura, nos intervalos de valores analisados, não

tiveram influencia significativa na absorção de chumbo pelo aguapé.

Para o tratamento de efluentes, contaminados com chumbo de pequenas e médias indústrias que reciclam baterias automotivas, a utilização do aguapé é viável, comprovando que este material alternativo pode ser eficiente no polimento final de efluentes de indústria recicladora de baterias automotivas, nas condições otimizadas.

Faz-se necessário um estudo apurado para definição da melhor alternativa de tratamento/disposição final da biomassa de aguapé após o tratamento do efluente.

REFERÊNCIAS

- AKCIN, G.; SALTABAS, O.; AFSAR, H., Removal of lead by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). **J. Environ S.A.**: Health Part A, v.29, n.10, p.2177-2183, 1994.
- ANDRADE, J.M.F (2001). **Gestão ambiental para implementação da reciclagem de baterias automotivas, controle das recicladoras de chumbo e de suas áreas potencialmente contaminadas.** Disponível em: http://www.mp.ba.gov.br/atuacao/ceama/material/doutrinas/residuos/gestao_ambiental_para_implementacao_da_reciclagem_de_bateria.pdf. Acesso em 07/03/09.
- BLAKE, G.; KAIGATE, B.; FOURCY, A.; BOUTIN, C., Incorporation of cadmium by water hyacinth. **Water Science Technology**. v.19, n.10, p.123-128, 1987.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 257 de 30 de junho de 1999**: Dispõe sobre o gerenciamento ambientalmente adequado de baterias esgotadas, no que tange a coleta, reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 357 de 17 de março de 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, e dá outras providências
- CHANDRA, P.; KULSHRESHTHA, K. Chromium accumulation and toxicity in aquatic vascular plants. **The Botanical Review**, 70, 313-327, 2004.
- CHINDHADE, V.K.; JOGLEKAR; BRORASKAR, V.N.; GUNALE, V.R. Estimation of bioaccumulation of lead in the aquatic plants using 14 mev neutron activation analysis. **Rodionchem. Radional Lett.**, v.3, p.192-194, 1980.
- COELHO, T. Aguapé: bom, bonito e barato. **Ecologia e Desenvolvimento**, v.38, p. 2-4, 1994.
- DEL BUBBA, M.; ARIAS, C.A.; BRIX, H. Phosphorus adsorption maximum of sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds as measured by the Langmuir isotherm. **Water Research**, v.37, p.3390-3400, 2003.
- DELGADO, M.; BIGERIEGO, M.; GUARDIOLA, E. Uptake of Zn, Cr and Cd by water hyacinth. **Water Research**, v.27, n.2, p.269-272, 1993.
- FAJARDO, C.A . G. Remoción de metales de águas residuales industriales. **Colômbia**, v.14, 1p.1-2, 1995.
- FARAHBAKHSHAZAD, N.; MORISON, G.M.; SALATI, E.F. Nutrient removal in vertical upflow wetland in Piracicaba, Brazil. **Ambio**, v.29, p.74-77, 2000.
- GABARDO, M.T. **Utilização de aguapé no tratamento de esgotos** (relatório surema). Curitiba, 1987.

- GOMES, J.A.; KAWAI, H.; JAHNEL, M. Estudo piloto sobre a obtenção de composto orgânico a partir de aguapé. **Ambiente**, v.1, n.1, p.12-17, 1987.
- GOMIDE, R. **Operações unitárias**. São Paulo. v.3, p.192-194, 1980.
- GONÇALVES, C.V. **Alometria foliar, biomassa e fitoacumulação de cromo em *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ecologia –Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2006, 76 p.
- GORSUCH, T.T. Radiochemical investigations on the recovery for analysis of trace elements in organic and biological materials. **Analyst**, v.84, p.135-142, 1959.
- HUSSAR, G.J.; BASTOS, M.C. Tratamento de efluente de piscicultura com macrófitas aquáticas flutuantes. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.5, n.3, p.274-285, set/dez 2008.
- JAMIL, K.; MADHAVENDRA, S.S.; JAMIL, H.Z.; RAO, P.V.R. Studies on water hyacinth as a biological filter for treating contaminants from agricultural wastes and industrial effluents. **Journal of Environmental Science Health**, v.322, n.1, p.103-112, 1987.
- KADLEC, R.H.; KNIGHT, R.L. **Treatment Wetlands**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1996.
- KEITH, L.H. **Compilation of EPA'S. Sampling and analyses methods**. 2 ed. New York: CRC Paess. Inc. 1996. p. 1064-1065.
- LEE, T.A. & HARDY, J.K. Copper uptake by the water hyacinth. **Journal of Environmental Science Health**, v.A22, n.2, p.141-160, 1987.
- LENZI, E.; LUCHESE, E.B.; LIMA, S.B. Otimização da utilização da *Eichhornia crassipes* – aguapé na despoluição de soluções contaminadas com cromo. **Arq.Biol.Tecnol.**, v.37, n.3, setembro, p.603-609, 1994.
- MEULEMAN, A.F.M.; BELTMAN, B.; SCHEFER, R.A. Water pollution control by aquatic vegetation of treatment wetlands. **Wetlands Ecology and Management**. v.12, p. 459-47, 2004.
- MUKHERJEE, S.; MONDAL, G.C. Removal of lead by water hyacinth. **Indian Journal of Chemistry Technology**, v.2, n.2, p.59-62, 1995.
- OLIVEIRA, J.A.; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A. O.; JORDÃO, C.P. Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de Aguapé e de *Salvinia*. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13. n.3, p.329-341, 2001.
- PERRY, R.H.; CHILTON, C.H. **Manual de engenharia química**. 5 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, p.10-21, 1980.
- POTT, V.J.; POTT, A. **Plantas aquáticas do Pantanal**. EMBRAPA: Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (Corumbá –MS). Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 404 p, 2000.
- PROSAB. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro: ABES, 84 p., 1999.
- RAY, S.; WHITE, W. Selected aquatic plants as indicator species for heavy metal pollution. **Journal of Environmental Science Health**, v.A11(12), p.717-725, 1976.
- SANTOS, M.C.; LENZI, E. The use of aquatic macrophytes (*Eichhornia crassipes*) as a biological filter in the treatment of lead contaminated effluents. **Environmental Technology**. v.21, p.615-622, 2000.
- SAUMEN PAL, P.B.V.; GUNALE, V.R. Rapid effects of lead on water hyacinth (*Eichhornia crassipes solms*) plants following single exposure detected by photoacoustic spectroscopy. **Current Science**. v.58, n.19, p.1096-1098, 1989.
- SCHNEIDER, I.A.H.; RUBIO, J. Sorption of heavy metal ions by the non living biomass of freshwater macrophytes. **Environmental Science & Technology**. v.33, p.2213-2217, 1999.

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.