

Diagnóstico ambiental de área industrial contaminada por metais pesados

Environmental diagnosis of industrial area contaminated by heavy metals

COSTA, Maria Conceição Rivioli
DAMILANO, Cristina Rezende
VASCONCELLOS, Adriana
COSTA, Rodrigo Cordeiro da
Departamento de Engenharia Civil
Universidade de Taubaté – UNITAU
Taubaté – São Paulo – Brasil
Correspondência para autor: conceicaorivioli@uol.com.br

Recebido em 24 de agosto de 2008; aceito em 31 de setembro de 2008.

RESUMO

De acordo com a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, o Brasil possuía em 2002, somente no Estado de São Paulo, um total de 255 áreas contaminadas e, em 2006, saltou para 1822. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi quantificar os teores de metais pesados na água, sedimentos fluviais e plantas desenvolvidas em uma lagoa e no solo, em área pertencente a uma extinta indústria recicladora de chumbo em baterias automotivas. As amostras de água, plantas e sedimentos foram submetidas à digestão nitroperclórica, e, em seguida, os extratos foram quantificados em espectrofotometria de absorção atômica para determinação dos teores dos metais Mn, Cu, Zn, Pb, Cd e Ni. Os resultados evidenciam que o sedimento fluvial está contaminado por Pb, Cu, Cd e Zn. A água do córrego Caetano por Cu e a da nascente por Cd. Em relação às plantas, das 26 analisadas, 17 apresentaram contaminação por Mn, 3 por Cu, 20 por Zn, 7 por Pb, 9 por Cd e 21 por Ni. Dessas, apenas a tiririca e o rabo de burro não apresentaram contaminação por nenhum dos metais analisados. Os maiores teores de Mn foram encontrados no cyperus, sapé, orquídea terrestre, vassourinha, asteracea, braquiária, junco, carrasquenta, eucalipto, lírio do brejo, taboa e musgo. Asteracea e o musgo exibiram os maiores teores de Cu. O cyperus, vassourinha, asteracea, braquiária, sapé, junco, carrasquenta, orquídea terrestre, samambaia (sp 1 e 2), samambaia comum, eucalipto, banana do brejo, lírio do brejo e musgo foram as que mais concentraram Zn. A taboa, cyperus, asteracea, orquídea terrestre e musgo exibiram mais Pb. O cyperus, vassourinha, braquiária, orquídea terrestre, asteracea, carrasquenta e musgo, o Cd. A taboa, braquiária, carrasquenta, cyperus (sp 1, 2 e 3), vassourinha, asteracea, sapé, junco, embaúba, orquídea terrestre, samambaia sp 1, samambaia comum, eucalipto, banana do brejo, lírio do brejo e musgo concentraram mais Ni. No geral, as plantas foram boas acumuladoras e tolerantes aos metais, sendo que cada espécie mostrou maior especificidade à extração de um determinado metal, demonstrando seu potencial como fitoextratoras para esse metal. A asteracea e o musgo exibiram tolerância a todos (Pb, Cd, Zn, Mn, Ni e Cu), concomitantemente. Os teores dos metais quantificados estiveram acima dos permitidos pela legislação internacional para plantas, caracterizando a contaminação da área industrial por metais pesados

PALAVRAS-CHAVE: Fitorremediação. Metais tóxicos. Contaminação industrial. Plantas extratoras

ABSTRACT

According to the Company of Technology and Environmental Sanitation, Brazil had in 2002, a total of 255 contaminated areas and in 2006 and this number rose to 1822 in the Sao Paulo State. In this context, the aim of this study is to quantify the levels of heavy metals in water, river sediments and plants developed in a pond and soil around it, in an area belonging to the extinct recycling industry of lead from automotive batteries (FAE). After digestion and collection of samples, the extracts were measured by atomic absorption spectrophotometry, to determine the levels of Mn, Cu, Zn, Pb, Cd and Ni. The results show that the river sediment is contaminated by Pb, Cu, Zn and Cd. The water from Caetano's creek is contaminated by Cu and its source by Cd. 26 plants were analysed from these 17 were contaminated by Mn, 3 were contaminated by Cu, 20 were contaminated by Zn, 7 by Pb, 9 were contaminated by Cd and 21 were contaminated by Ni. From those plants, only "tiririca" and "rabo de burro" were not contaminated by any of the analyzed metals. The major contents of Mn were found in cyperus, "sapé", land orchid, "vassourinha", asteracea, brachiaria, "junco", "carrasquenta", eucalyptus, "lírio do brejo", "taboa" and moss. Asteracea and moss had the highest levels of Cu. Cyperus, "vassourinha", asteracea,

brachiaria, "sapé", "junco", "carrasquenta", land orchid, fern (sp 1 and 2), common fern, eucalyptus, "banana do brejo", "lírio do brejo" and moss were the ones that had the biggest amount of Zn. "Taboa", cyperus, asteracea, land orchid and moss had a bigger quantity of Pb. Cyperus, "vassourinha", brachiaria, land orchid, asteracea, "carrasquenta" and moss had a bigger quantity of Cd "taboa", brachiaria, "carrasquenta", cyperus (sp 1, 2 and 3), "vassourinha", asteracea, sapé, "junco", "embaúba", land orchid, fern sp 1, common fern, eucalyptus, "banana do brejo", "lírio do brejo" and moss had the biggest concentration of Ni. Overall, the plants were good accumulators and they were tolerant to the metals, and each specie proved to be more specific to a particular metal extraction, demonstrating its potential as fito-extractor for this metal. Asteracea and moss were tolerant to all these metals (Pb, Cd, Zn, Mn, Ni and Cu), concurrently. The quantified metal levels were above the permitted by international law for plants, characterizing the contamination of the industrial area as being by heavy metals.

KEY WORDS: Fito-remediation. Toxic metals. Industrial contamination. Extractor Plants.

I. INTRODUÇÃO

A falta de planejamento estratégico no Estado de São Paulo, nas últimas décadas, resultou na existência de estabelecimentos industriais inseridos em áreas que passaram a ser altamente urbanizadas e densamente povoadas. Esse cenário, somado à falta de uma política de gerenciamento ambiental adequada nas décadas de 60 a 90, deu origem a áreas contaminadas por substâncias tóxicas, muitas vezes colocando em risco a saúde da comunidade próxima ao local.

O total de áreas contaminadas cadastradas, identificadas somente no Estado de São Paulo, saltou de 255 em maio de 2002 para 1822 em novembro de 2006 (CETESB, 2008)¹.

Em relação à contaminação com metais pesados, essa preocupação deve-se, principalmente, ao fato de serem bastante estáveis na natureza e, conseqüentemente, passíveis de serem acumulados no solo, nas plantas, nos sedimentos e em sistemas biológicos.

A prevenção da poluição, bem como a limpeza de áreas contaminadas tornou-se, nos últimos anos, uma prioridade ambiental. As indústrias estão sendo pressionadas a introduzirem novas técnicas ou tecnologias de purificação e reciclagem que venham reduzir consideravelmente a contaminação no ecossistema. Dentre as inúmeras tecnologias para remediação de águas e solos contaminados destaca-se a biorremediação e a fitorremediação como opções para promover a destoxificação do local ou a remoção dos elementos contaminados (ACCIOLY e SIQUEIRA, 2000)².

Santos e Rodella (2007)³ avaliaram a eficiência da mostarda na remoção de metais pesados e boro (B) de um solo contaminado e o efeito da adição de materiais orgânicos na redução da disponibilidade de metais. Concluíram que a mostarda é uma planta promissora para ser utilizada em programas de fitoextração. Observaram também que o emprego da turfa e substâncias húmicas atuaram como amenizantes de toxicidade de Zn, Cu, Mn, Pb e B em solo contaminado, reduzindo os efeitos tóxicos e favorecendo o desenvolvimento da mostarda.

Romeiro et al., (2000)⁴ estudaram o desenvolvimento do feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*) na presença de Pb em casa de vegetação e concluíram que essa espécie é tolerante e hiperacumuladora ao metal, principalmente acumulando-o nas raízes, e por essas características deve ser investigado seu potencial fitoextrator para Pb em condições de campo. Resultados positivos na redução de teores de metais pesados por fitoextração em solo ou resíduos foram obtidos também por Toth (1980)⁵; Zhipei et al. (1984)⁶; Vilar (2002)⁷; Costa (2002)⁸; Franchi et al. (2003)⁹; Nunes et al. (2004)¹⁰; Damilano (2006)¹¹; Santos et al. (2007)¹²; Santos e Rodella (2007)³.

Experimento em casa de vegetação foi conduzido por Santos et al. (2007)¹², utilizando vasos de 30L com o objetivo de avaliar a contenção química e a fitorremediação pela *brachiaria decumbens* de um resíduo industrial contaminado com Zn e Cd. Os autores concluíram que a adição de um outro resíduo industrial, alcalino e orgânico, no resíduo contaminado provocou redução nas percentagens de Zn e Cd nas frações solúvel e trocável, e predominância destes nas frações químicas mais estáveis como complexados e precipitados. A *Brachiaria decumbens* apresentou tolerância ao Zn e Cd presentes no resíduo industrial após tratamento de contenção química. Esse trabalho sugere a utilização de resíduos industriais como fonte de correção e/ou amenização de resíduos industriais e também o estudo de novas espécies para despoluir áreas contaminadas por metais pesados.

De acordo com Ribeiro Filho et al. (2001)¹³, em várias partes do mundo, inclusive no Brasil, solos contaminados por metais pesados precisam ser remediados, e programas para essa finalidade incluem estratégias de mitigação da fitotoxicidade e seleção de plantas tolerantes ao excesso de metais. Neste contexto, este trabalho objetivou estudar a concentração dos metais Pb, Cd, Zn, Mn, Ni e Cu em plantas, água e sedimento existente em uma lagoa desativada que no passado serviu como descarte de efluentes para a Indústria de Comércio de Metais, visando à seleção de espécies tolerantes e fitoextratoras de metais pesados na despoluição ambiental.

II. MÉTODOS

2.1 Identificação das áreas

O estudo foi desenvolvido na região do Vale do Rio Paraíba do Sul, no município de Caçapava, com uma área territorial de 378 km², sendo 77,14 km² de área urbana e 300,86 km² de área rural, no Estado de São Paulo. Limita-se ao norte com o município de Monteiro Lobato; ao sul, com Redenção da Serra; a leste, com Taubaté e a oeste, com São José dos Campos, suas coordenadas geográficas são: Latitude: 23º 6' e Longitude 45º 42'. O clima apresenta verões quentes e chuvosos e invernos secos, com temperatura média do mês mais quente de 22,80 C e mais frio, 11,30 C. A topografia é ondulada na parte alta e plana na várzea, chegando a íngreme nas alturas da Serra do Mar e da Mantiqueira, com altitude média de 557 m acima do nível do mar. Está distante 105 km de São Paulo e 300 km do Rio de Janeiro, com uma população de 68.075 mil habitantes, apresentando como atividade econômica a agricultura, a pecuária e a indústria (IBGE 2006)¹⁴.

2.2 Histórico e Caracterização da Área Estudada.

2.2.1 Indústria de Comércio e Metais S.A.

A Indústria está localizada na área rural do município de Caçapava, a 2 km da rodovia Presidente Dutra. Essa indústria teve como atividade principal a produção de lingotes de chumbo por meio de reciclagem de resíduos industriais e de baterias automobilísticas, usados para diversas finalidades, constituindo uma fonte poluidora para a região em que predomina de criação de gado leiteiro.

Atualmente, a Indústria de Comércio e Metais S.A. está interdita judicialmente, devido à contaminação do solo, plantas e águas superficiais com chumbo e cádmio (COSTA, 2002)⁸.



Figura 1. Vista do depósito de escória a céu aberto da indústria FAÉ S.A.

Fonte: Damilano, 2006¹²

2.3 Métodos utilizados

2.3.1 Metodologia para análise dos metais em sedimentos.

As amostras de sedimentos foram obtidas a partir da coleta de seis pontos, nas margens esquerda e direita do córrego Caetano e do Ribeirão Germanic, e nos lagos, identificados por 1 e 2, respectivamente. Posteriormente, essas seis amostras simples foram misturadas, formando uma amostra composta, para o córrego Caetano, ribeirão Germanic e para os lagos um e dois (ABNT/ NBR 10007)¹⁵. Os sedimentos foram destorroados, passados através de uma peneira com abertura de 2 mm, moídos em almofariz de ágata e novamente passados por peneira com abertura de 210 μm. As amostras foram digeridas adotando a metodologia proposta por Scott (1978)¹⁶, e os extratos analisados no espectrofotômetro de absorção atômica para quantificação das concentrações dos metais: Pb, Cd, Zn, Mn, Ni e Cu.

2.3.2 Metodologia para análise dos metais em águas superficiais.

Foram coletadas amostras de água na lagoa, córrego Caetano e ribeirão Germanic e também de uma mina, acima uns 3m da lagoa, segundo a ABNT/NBR 989817. Essas amostras foram centrifugadas com velocidade de 10.000 rpm por vinte minutos. Após centrifugação, foram filtradas e os extratos analisados em espectrofotometria de absorção atômica para quantificação das concentrações dos metais: Pb, Cd, Zn, Mn, Ni e Cu.

2.3.3 Metodologia para análise dos metais na planta.

As plantas foram coletadas no interior da lagoa e no solo ao redor desta, a qual foi utilizada por período de vinte anos pela extinta indústria FAÉ, para depurar as águas residuárias. Após coleta, foram secas em uma estufa com circulação de ar e, após, moídas em moinho tipo Willy. Os extratos foram digeridos

adotando-se a metodologia de Tedesco et al. (1995)¹⁸, e analisados no espectrofotômetro de absorção atômica para quantificação das concentrações dos metais: Pb, Cd, Zn, Mn, Ni e Cu.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Teores de metais pesados no sedimento

A indústria é responsável direta e indiretamente pelo lançamento de compostos recalcitrantes em corpos hídricos. Esses compostos, devido a sua natureza tóxica e permanência prolongada nos ecossistemas, acumulam-se no ambiente aquático, potencializando seus efeitos nocivos nos habitantes que aí vivem, e, quando absorvidos, acumulam-se ao longo da cadeia alimentar, chegando até o homem. No Quadro 1, verificam-se as concentrações de metais contificados no sedimento da antiga lagoa que foi utilizada pela indústria FAÉ.

Quadro 1. Teores de metais pesados no sedimento da lagoa de sedimentação de efluentes.

Sedimento	Elementos (mg kg ⁻¹)					
	Manganês	Cobre	Zinco	Chumbo	Cádmio	Níquel
Amostra única	■30596	(●)35	(■)3621650	(■)2507	(■)168	■54

Legenda:

- (○) Valores normais (□) Valores Intermediários ■ Falta de valores padrões
 (●) Valores contaminados (■) Valores acima dos limites

Quadro 2. Classes de Contaminação de Sedimentos

Classes (1)	Padrões para os Elementos (mg kg ⁻¹)					
	Pb	Cd	Zn	Ni	Cu	Mn
Não Poluídos	< 40		<90	-	<25	-
Moderadamente Poluído	40-60		90-200	-	25-75	-
Altamente Poluído	>60	>6	>200	-	>75	-

Fonte: Prater & Anderson (1977)¹⁹

Conforme o Quadro 1, não serão discutidos os resultados de Ni e Mn, devido à falta de valores padrões na literatura, o que se verifica no Quadro 2. O resultado quantificado para Cu foi de 35 mg kg⁻¹ (Quadro 1), e com base nos padrões dos elementos (Quadro 2), ele se inclui na classe moderadamente poluída, o que indica contaminação no sedimento da lagoa por esse metal.

Para os metais Pb, Cd e Zn, os teores quantificados (Quadro 1) se encontram na classe altamente poluída (Quadro 2), o que nos leva inferir que o sedimento da lagoa esta contaminada por esses metais. Entretanto, Pereira (1995)²⁰, ressalta que a determinação da concentração total de metais em solos e sedimentos não é suficiente para avaliar o impacto ambiental causado por metais pesados, mas essa determinação é importante porque poderá fornecer dados sobre o acúmulo desses elementos ao longo dos anos.



Figura 2a e 2b. Sedimento coletado na lagoa desativada.

Fonte: Damilano, 2006

3.2 Teores de Metais pesados em água na área da indústria

As concentrações de Mn, Cu, Zn, Pb e Cd em amostras de água superficiais coletadas na nascente e no córrego lateral à lagoa pertencente à Indústria de Comércio e Metais são apresentadas no Quadro 3, e no Quadro 4, as concentrações padrões de metais em águas superficiais (CONAMA, 2002)21.

Quadro 3. Concentração de metais pesados na água

Amostra de água	Elementos (mg / L)				
	Manganês	Cobre	Zinco	Chumbo	Cádmio
Nascente	(○)0,005	n/d	(○)0,010	n/d	(●)0,004
Córrego lateral a lagoa	(○)0,355	(●)0,021	(○)0,085	n/d	n/d

Legenda:

- (○) Valores normais (□) Valores Intermediários
 (●) Valores contaminados (■) Valores acima dos Limites
 n/d – não detectada nenhuma concentração do elemento na amostra.

Quadro 4. Padrões de concentração de metais pesados em águas superficiais.

Local	Padrões para os Elementos (mg / L)					
	Pb	Cd	Zn	Ni	Cu	Mn
Classe 1-Padrão máximo para água doce	0,01	0,001	0,18	0,025	0,009	0,1
Classe 3-Padrão máximo para corpos de água doce	0,033	0,01	5	0,025	0,013	0,5

Fonte: Resolução CONAMA n 357/2005²¹

Os resultados obtidos na nascente foram comparados com os padrões de água classe I. Verifica-se que os teores quantificados estão abaixo do padrão máximo para água doce (Quadro 3), com exceção do Cd (0,004 mg/L), indicando contaminação da nascente por esse elemento.

Os resultados obtidos no córrego lateral à lagoa foram comparados com os padrões de água classe III. Dos elementos quantificados (Quadro 3), apenas o Cu (0,021 mg/L) apresentou concentrações acima dos valores permitidos, entendendo que o córrego apresenta contaminação por Cu. Perante os resultados, pode-se inferir que a água da nascente apresenta contaminação por Cd e a do córrego, por Cu, indicando contaminação dos recursos hídricos pertencentes à indústria.



Figura 3 - Água da nascente. Fonte Damilano, 2006¹¹



Figura 4 - Água do córrego lateral a lagoa. Fonte: Damilano, 2006¹¹

3.3 Teores de metais pesados nas plantas

No Quadro 5, podem ser visualizadas as famílias, os nomes científicos e vulgares das espécies identificadas.

Quadro 5. Dados sobre a família, nome científico e popular das espécies identificadas.

Família	Nome Científico	Nome Popular
Araceae	<i>Philodendron bipinnatifidum</i> Schott	Banana-do-brejo
Asteraceae	<i>Pterocaulon virgatum</i> DC.	Carrasquenta
Asteraceae	<i>Asteracea sp.</i>	Asteracea
Cecropiaceae	<i>Cecropia glazioui</i>	Embaúba
Crassulaceae	<i>Sedum morganianum</i>	Rabo-de-burro
Cyperaceae	<i>Eleocharis filiculmis</i> Kunth	Junco-manso
Cyperaceae	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Tiririca-comum
Cyperaceae	<i>Cyperus sesquiflorus</i> (Tor.)	Capim-santo
Cyperaceae	<i>Eleocharis filiculmis</i> Kunth	Junco-manso
Gramineae	<i>Imperata brasiliensis</i>	Sapé
Myrtaceae	<i>Eucalyptus spp</i>	Eucalipto
Orchidaceae	<i>Arundina bambusifolia</i> Lindl.	Orquídea terrestre
Poaceae	<i>Brachiaria decumbens</i>	Braquiária
Polypodiaceae	<i>Pteridium aquilinum</i>	Samambaia
Typhaceae	<i>Typha angustifolia</i> L.	Taboa
Zingiberaceae	<i>Hedychium coronarim</i> Koenig	Lírio-do-brejo

3.3.1 Plantas analisadas na área da indústria.

As Figuras 5 a 24b ilustram as plantas desenvolvidas na área da indústria e que foram analisadas quanto aos teores dos metais pesados.



Figura 5. *Cyperus* sp (1)
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 6. *Cyperus* sp (2)
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 7. *Cyperus* sp (3)
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 8. Vassourinha
Fonte: Damilano, 2006⁶



Figura 9. Taboa
Fonte: Damilano, 2006⁶



Figura 10. Asteracea
Fonte: Damilano, 2006⁶



Figura 11. Braquiária
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 12. Sapé
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 13. Tiririca (floração)
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 14. Junco-manso
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 15. Rabo-de-burro
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 16. Carrasqueira
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 17. Embaúba
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 18. Orquídea terrestre
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 19. Samambaia comum
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 20. Samambaia sp 2
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 21. Eucalipto
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 22. Banana-do-brejo
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 23. Lírio-do-brejo
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 24a. Musgo
Fonte: Damilano, 2006¹¹



Figura 24b. Musgo
Fonte: pt.wikipedia.org²²

3.3.2 Teores de metais pesados nas plantas

No Quadro 6 podem ser visualizados os teores de metais pesados nas respectivas plantas desenvolvidas na área pertencente à Indústria de Comércio e Metais S.A.

Quadro 6. Teores de metais pesados nas plantas

Local	Plantas	Elementos (mg kg ⁻¹)					
		Manganês	Cobre	Zinco	Chumbo	Cádmio	Níquel
(B)	<i>Cyperus</i> sp (1)	(■)536	(○)4	(●)109	(○)2	(○)0,7	(●)13
(B)	<i>Cyperus</i> sp (2)	(●)376	(○)8	(●)130	(●)93	(□)3	(●)17
(A)	<i>Cyperus</i> sp (3)	(■)751	(○)15	(●)152	(●)42	(●)14	(●)18
(B)	Vassourinha	(■)706	(○)7	(●)196	n/d	(□)2	(●)49
(B)	Taboa	*	(○)3	(○)40	n/d	n/d	(●)22
(A)	Taboa	*	(○)2	(○)42	(□)21	(○)0,2	(□)8
(A)	Asteracea	(■)661	(□)16	(●)327	(●)99	(●)19	(●)12
(B)	Asteracea	(■)604	(●)32	(●)247	(●)60	(●)20	(●)13
(B)	Braquiária	(■)687	(○)8	(●)149	(○)3	(□)1	(□)7
(B)	Sapé	(●)331	(○)4	(○)39	(○)8	n/d	(○)2
(A)	Sapé	(■)665	(○)5	(●)167	(○)3	n/d	(●)20
(B)	Tiririca-comum.	(○)259	(○)3	(○)38	n/d	n/d	(○)2
(B)	Junco-manso	(■)740	(○)5	(●)195	n/d	n/d	(●)56
(B)	Rabo de burro	(○)293	(○)3	(○)45	n/d	n/d	n/d
(B)	Carrasquenta	(■)682	(○)15	(●)219	n/d	(●)19	(□)9
(B)	Embaúba	(○)118	(○)7	(○)39	n/d	n/d	(●)10
(B)	Orquídea terrestre	(●)358	(○)5	(●)152	(●)169	(□)4	(●)97
(B)	Samambaia sp (1)	(○)95	(○)7	(●)119	(○)4	n/d	(○)4
(A)	Samambaia sp (1)	(○)94	(○)5	(●)128	n/d	n/d	(●)14
(B)	Samambaia comum	(○)106	(○)4	(●)122	n/d	n/d	(●)22
(A)	Samambaia comum	(○)249	(○)3	(●)126	n/d	n/d	(●)17
(B)	Samambaia sp (2)	(○)55	(○)5	(●)145	(○)6	n/d	(○)2
(B)	Eucalipto	(■)1606	(○)2	(●)129	n/d	n/d	(●)11
(A)	Banana-do-brejo	(○)213	(○)0,4	(●)134	n/d	n/d	(●)17
(A)	Lírio-do-brejo	(■)1481	(○)2	(●)146	n/d	n/d	(●)31
(B)	Musgo	*	(●)45	(■)401	(●)295	(●)8	(●)59

Legenda:

(A) Lagoa

(○) Valores normais

(□) Valores Intermediários

(B) Caixa de contenção

(●) Valores contaminados

(■) Valores acima dos Limites

* Dados não quantificados em função de várias diluições e perda da notificação dos resultados.

n/d - Não detectada nenhuma concentração do respectivo elemento na amostra.

O Quadro 7 ilustra os elementos com os respectivos padrões de concentração e níveis críticos de metais pesados (Kabata Pendias & Pendias, 1984¹³ & Lindsay, 1979²³) para os cinco elementos estudados.

Quadro 7. Padrão de Concentração e nível crítico de metais pesados em plantas.

Elemento	Teores Normais (mg kg ⁻¹)	Teores de contaminação (mg kg ⁻¹)
Mn	15 - 1000	300 - 500
Cu	4 - 15	20 - 100
Zn	8 - 400	100 - 400
PB	0,1 - 10	30 - 300
Cd	0,2 - 0,8	5 - 30
Ni	0,02 - 5	10 - 100

Fonte: Kabata Pendias & Pendias, 1984¹³ & Lindsay, 1979²³

3.3.3 Teores de Mn nas plantas

Para o Mn, das 26 (100%) plantas analisadas (Quadro 4), 9 (34,62%) não apresentaram contaminação. Porém, observou-se que três espécies (11,54%): *Cyperus* sp 2 (B) (376 mg kg⁻¹), sapé (B) (331 mg kg⁻¹) e a orquídea (B) (358 mg kg⁻¹) apresentaram contaminação. As 14 (53,85%) restantes apresentaram concentrações de Mn acima do limite permitido (Quadro 5), sendo elas: *Cyperus* sp 1 (B) (536 mg kg⁻¹), *Cyperus* sp 3 (A) (751 mg kg⁻¹), vassourinha (B) (706 mg kg⁻¹), asteracea (A) (661 mg kg⁻¹), asteracea (B) (604 mg kg⁻¹), braquiária (B) (687 mg kg⁻¹), sapé (A) (665 mg kg⁻¹), junco-manso (B) (740 mg kg⁻¹), carrasquenta

(B) (682 mg kg⁻¹), eucalipto (B) (1606 mg kg⁻¹) e lírio-do-brejo (A) (1481 mg kg⁻¹), resultados esses que indicam contaminação da área por Mn. Ressaltamos que as espécies taboas e musgo, devido às elevadas concentrações de Mn no extrato, várias diluições foram realizadas, porém, infelizmente, a diluição final não foi quantificada, perdendo, portanto, dados importantes para contribuição da pesquisa.

3.3.4 Plantas contaminadas por Cu

Das 26 (100%) plantas analisadas (Quadro 6), somente duas espécies (7,7%) apresentaram contaminação. O musgo (45 mg kg⁻¹) e a asteracea desenvolvida na caixa de contenção (B) (32 mg kg⁻¹). Porém, a asteracea desenvolvida na lagoa (A) os teores quantificados (16 mg kg⁻¹) se encontram em uma faixa intermediária, i.e, acima dos normais e abaixo dos valores de contaminação (Quadro 3). A elevada concentração quantificada, sugere serem as espécies extratoras de Cu.

Trabalho desenvolvido por Soares et al. (2000)²⁴, com duas espécies de eucalipto em solução nutritiva, evidenciou que a concentração crítica de Cu na solução para reduzir em 10% a matéria seca da parte aérea foi de 8,3 µM e 3,3 µM para *E. rophylla* e *E. maculata*, respectivamente. O nível crítico de toxidez na matéria seca da parte aérea para ambas as espécies foi de 12 e 13 mg kg⁻¹ para ambas.

Segundo Alloway (1990)²⁵ e Bowen (1979)²⁶, os níveis normais de Cu em plantas estão na faixa de 4-15 mg kg⁻¹ Cu, e que a faixa de contaminação é de 20-100 mg kg⁻¹ Cu (Quadro 3).

3.3.5 Teores de Zn nas plantas

Das 26 (100%) plantas analisadas para Zn (Quadro 4), apenas seis (23,08%) não apresentaram contaminação, sendo que 20 (76,9 %) estão contaminadas, são elas: cyperus 1 (B) (109 mg kg⁻¹), cyperus 2 (B) (130 mg kg⁻¹), cyperus 3 (A) (152 mg kg⁻¹), vassourinha (B) (196 mg kg⁻¹), asteracea (A) (327 mg kg⁻¹), asteracea (B) (249 mg kg⁻¹), braquiária (B) (149 mg kg⁻¹), sapé (A) (167 mg kg⁻¹), junco manso (B) (195 mg kg⁻¹), carrasqueira (B) (219 mg kg⁻¹), orquídea terrestre (B) (152 mg kg⁻¹), samambaia1 (B) (119 mg kg⁻¹), samambaia 1 (A) (128 mg kg⁻¹), samambaia comum (B) (122 mg kg⁻¹), samambaia comum (A) (126 mg kg⁻¹), samambaia 2 (B) (145 mg kg⁻¹), eucalipto (B) (129 mg kg⁻¹), banana-do-brejo (A) (134 mg kg⁻¹), lírio-do-brejo (A) (146 mg kg⁻¹) e a espécie musgo (401 mg kg⁻¹ Zn), com concentrações acima do nível de contaminação determinadas em plantas, e os níveis normais variam na faixa de 0-300 e o os níveis de contaminação na faixa de 70 a 400 mg kg⁻¹ Zn (Kabata Pendias & Pendias, 1984)²³, indicando ser planta tolerante e excelente extratora de Zn. Resultados semelhantes foram encontrados por Soares et al. (2001)²⁴, que constataram índices elevados de Zn no caule da *Dendropanax cunetum*,

3.3.6 Teores de Pb nas plantas

Das 26 (100%) plantas analisadas para o Pb (Quadro 4), 19 (73,08%) não apresentaram contaminação, apenas a taboa (3,85%) do local A, apresentou teor intermediário de 21 mg kg⁻¹, i.e, valor este acima do normal e abaixo do contaminado. Seis plantas (23,08%) apresentaram contaminação, sendo: cyperus 2 (B) (93 mg kg⁻¹), cyperus 3 (A) (42 mg kg⁻¹), asteracea (A) (99 mg kg⁻¹) e a asteracea (B) (60 mg kg⁻¹). Esses resultados evidenciam que plantas de uma mesma espécie quando desenvolvidas em solos ou sedimentos com diferentes teores do metal podem extrair e armazenar diferentes concentrações nos tecidos. A orquídea terrestre (B) concentrou 169 mg kg⁻¹ Pb e o musgo (B) 295 mg kg⁻¹, podendo-se com esses resultados verificar a preferência das espécies pelo metal. De acordo com Kabata Pendias & Pendias (1984)²³, as concentrações críticas de Pb estão na faixa de 30 - 300 mg kg⁻¹.

3.3.7 Teores de Cd nas plantas

Para o Cd, das 26 (100%) plantas analisadas 17 (65,38%) não apresentaram contaminação (Quadro 4), quatro (15,39%) apresentaram contaminação em uma faixa indeterminada, i. e, acima do nível considerado normal e abaixo do valor de contaminação de Cd em plantas, sendo elas: cyperus 2 (B) (3 mg kg⁻¹), vassourinha (B) (2 mg kg⁻¹), braquiária (B) (1 mg kg⁻¹) e a orquídea terrestre (B) (4 mg kg⁻¹), que segundo Alloway (1990)²⁵ e Bowen (1979)²⁶ é de 0,2 - 0,8 mg kg⁻¹ Cd. Cinco (19,23%) apresentaram contaminação, sendo: cyperus 3 (A) (14 mg kg⁻¹), asteracea (A) (14 mg kg⁻¹), asteracea (B) (20 mg kg⁻¹), carrasqueira (19 mg kg⁻¹) e o musgo (8 mg kg⁻¹ Cd) que, de acordo com os mesmos autores, a faixa contaminada é de 5 - 30 mg kg⁻¹ Cd.

Com base nesses resultados, podemos inferir que as espécies têm mecanismos diferenciados na extração e translocação de metais. De acordo com Arduini et al. (1996)²⁷, a regulação da absorção de metais pesados da rizosfera, o acúmulo deles nas raízes, preservando sua integridade e funções primárias, e a baixa translocação para a parte aérea são considerados mecanismos pelos quais o sistema radicular pode contribuir para a tolerância de espécies a metais pesados.

3.3.8 Teores de Ni nas plantas

Das 26 (100%) plantas analisadas (Quadro 4), cinco (19,23%) não apresentaram contaminação por Ni, três (11,54%) apresentaram valores na faixa intermediária, sendo elas: a taboa (A) (8 mg kg⁻¹), braquiária (B) (7 mg kg⁻¹), carrasqueira (B) (9 mg kg⁻¹), e as 18 (69,23%) plantas restantes todas com teores de Ni na faixa de contaminação, sendo as espécies: cyperus 1 (B) (13 mg kg⁻¹), cyperus 2 (B) (17 mg kg⁻¹), cyperus 3 (A) (18 mg kg⁻¹), vassourinha (B) (49 mg kg⁻¹), taboa (B) (22 mg kg⁻¹), asteracea (A) (12 mg kg⁻¹), asteracea (B) (13

mg kg⁻¹), sapé (B) (20 mg kg⁻¹), junco-manso (B) (56 mg kg⁻¹), embaúba (B) (10 mg kg⁻¹), orquídea (B) (97 mg kg⁻¹), samambaia sp1 (A) (14 mg kg⁻¹), samambaia comum (B) (22 mg kg⁻¹), samambaia comum (A) (17 mg kg⁻¹), eucalipto (B) (11 mg kg⁻¹), banana-do-brejo (A) (17 mg kg⁻¹), lírio-do-brejo (A) (31 mg kg⁻¹) e musgo (B) (59 mg kg⁻¹).

De acordo com Kabata Pendias & Pendias (1984)²³ e Lindsay (1979) ²⁸, a faixa normal em plantas é de 0,02 a 5 mg kg⁻¹ e a faixa de contaminação varia de 10 a 100 mg kg⁻¹ Ni. Os resultados mostraram que 88,77% das plantas apresentam contaminadas por Ni. Por serem as concentrações de Ni baixas em solos naturais, os teores quantificados nas plantas caracterizam a área como antropizada.

IV. CONCLUSÃO

Nas condições ambientais em que o experimento foi conduzido, pode-se concluir que o sedimento fluvial está contaminado por Cu e altamente contaminado por Zn, Pb e Cd. A água do córrego apresentou contaminação por Cu e a da nascente, por Cd, indicando contaminação da área.

Dentre as espécies avaliadas, somente a tiririca e o rabo-de-burro não apresentaram contaminação por nenhum dos metais estudados. O cyperus, sapé, orquídea terrestre; vassourinha, asteracea, braquiária, junco, carrasquenta, eucalipto, lírio-do-brejo, taboa e musgo exibiram tolerância ao Mn. A asteracea e o musgo ao Cu. O cyperus, vassourinha, asteracea, braquiária, sapé, junco, carrasquenta, orquídea terrestre, samambaia (sp 1 e 2), samambaia comum, eucalipto, banana-do-brejo, lírio-do-brejo e musgo ao Zn. A taboa, cyperus, asteracea, orquídea terrestre e musgo ao Pb. O cyperus, vassourinha, braquiária, orquídea terrestre, asteracea, carrasquenta e musgo ao Cd. A taboa, braquiária, carrasquenta, cyperus (sp 1, 2 e 3), vassourinha, asteracea, sapé, junco, embaúba, orquídea terrestre, samambaia sp 1, samambaia comum, eucalipto, banana-do-brejo, lírio-do-brejo e musgo ao Ni.

As plantas foram boas acumuladoras e tolerantes aos metais, e cada espécie mostrou maior especificidade à extração de um determinado metal, demonstrando seu potencial como fitoextratoras para esse metal. A asteracea e musgo exibiram tolerância a todos os metais analisados (Pb, Cd, Zn, Mn, Ni e Cu), concomitantemente.

Os teores elevados dos metais estudados estiveram acima dos permitidos pela legislação internacional para plantas, caracterizando a contaminação da área industrial por metais pesados.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLO, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. Tópicos em Ciências do Solo, Viçosa, v.1. p. 299-351, 2000.

ALLOWAY, B. J. The origin of heavy metals in soils. In : ALLOWAY, B. J. ed. Heavy metals in soils. New York: John Wiley, 1990. p. 29-39.

ARDUINI, I.; GODBOLD, D. L.; ONNIS, A. Cadmium and copper uptake and distribution in Mediterranean tree seedlings. *Physiologia Plantarum*, Frederiksberg C., n. 97, p. 111-117, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007. Amostragem de resíduos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 10520. Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos recaptures. Rio de Janeiro, 1987.

BOWEN, H. J. M. Environmental Chemistry of the Elements. London :Academic Press, 1979.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Relação de áreas contaminadas no Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso: 28 de maio de 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução 307 de 05/07/2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais. Brasília, 2002.

COSTA, M. C. R. Avaliação da contaminação ambiental por metais pesados em área rural próxima a uma indústria de reciclagem de chumbo no Vale do Rio Paraíba do Sul – SP. 2002. 192 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2002.

DAMILANO, R. C. D. Diagnóstico ambiental de área industrial contaminada por metais pesados. 2006. 58f. Monografia (Graduação) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2006.

- FRANCHI, J. G.; SIGOLO, J. B.; LIMA, J. R. B. Turfa utilizada na recuperação ambiental de áreas mineradas. Metodologia para avaliação laboratorial. R. Bras. Geoc, São Paulo, v.33, p. 255-62, 2003.
- INSTITUTO BRASILEIRO GEOGRÁFICO DE ESTATÍSTICA - IBGE. Cidades do estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em : 09 fev.2006.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. Boca Raton: CRC, 1984. 315p.
- LINDSAY, W. L. Chemical equilibria in soils. New York : Wiley Interscience, 1979.
- MUSGOS. In: Wikipédia. A enciclopédia livre. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Musgo>>. Acesso em: 15 jul.2007.
- NUNES, R. A. et al. Humic substances applied to the purification of the wastewater from INGA Brazilian zinc company. In: INTERNATIONAL MEETING OF IHSS, 12., São Pedro, 2004. Proceedings... São Paulo: Embrapa, 2004. 788 p.
- PEREIRA, J. C. Avaliação da contaminação do meio ambiente por metais pesados na região do Vale do Aço (MG).1995. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Lavras, Viçosa , 1995.
- PRATER, B. L. ; ANDERSON, M. A. A. 96-Hour Bioassay of Otter Creek, Journal Water Pollution Control Federation, Ohio, v. 49, n. 10, p. 2099-2108, 1977.
- RIBEIRO FILHO, M. R. et al . Fracionamento e biodisponibilidade de metais pesados em solos contaminados, incubado com materiais orgânicos e inorgânicos. Revista de Ciência do Solo, Viçosa, v. 25, p.495-507, 2001.
- ROMEIRO, S. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de canavalia ensiformes L. Bragantia, Campinas, v.66, n.2, p. 327-334, 2000.
- SANTOS, F. S. dos et al. Chemical amendment and phytostabilization of an industrial residue contaminated with Zn and Cd. Sci. Agric, Piracicaba, v. 64, n. 5, p. 506-512, Sept./Oct.2007.
- SANTOS, G. C. G dos; RODELLA, A. A. Efeito da adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico de B, Zn, Cu, Mn e Pb no cultivo de Brassica juncea. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.31, p. 793-804, 2007.
- SCOTT, K. Cause and control of losses of chromium during nitric-perchloric acid oxidation of aquatic sediments. Cambridge: Analust, 1978.
- SOARES, C. R. F. S. et al. Crescimento e nutrição mineral de Eucalyptus maculata e Eucalyptus urophylla em solução nutritiva com concentração crescente de cobre. R. Bras. Fisiol. Veg, Brasília, v.12, n.3, p. 213-225, 2000.
- TEDESCO, M. J. et al. Análise de solo e plantas e outros materiais. Boletim técnico, Porto Alegre, n. 5, 1995.
- TOTH, A. Utilization of peatland for purification and emplacement of communal sewage mud. In: INTERNATIONAL PEAT CONGRESS, 6., Proceedings... Minnegota, 1980. p. 711-712
- VILAR, T. B. Efeito da turfa na descontaminação de solos com cádmio recorrendo a plantações de sorgo. 2002. 54 f. Monografia (Licenciamento em Engenharia Ambiente)-Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2002.
- ZHIPEI, Z. et al. A preliminary study of the removal of Pb²⁺, Cd²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺, e Cr³⁺, from wastewaters with several chinese peats. In: INTERNATIONAL PEAT CONGRESS, 7., Proceedings..., Dublin, 1984, p. 147-152.