

Remoção de metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo em biofertilizante suíno utilizando macrófita aquática (*Eichornia crassipes*) como bioindicador

Affonso Celso Gonçalves Júnior^{1*}, Cléber Antônio Lindino², Maurício Ferreira da Rosa², Reinaldo Bariccatti² e Gilmar Divino Gomes³

¹Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, 85960-000, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil. ²Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. ³Departamento de Tecnologia em Gestão da Produção Industrial, Faculdade de Tecnologia de Curitiba, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: affonso133@hotmail.com

RESUMO. Este trabalho objetivou avaliar a eficiência da macrófita aquática (*Eichornia crassipes*) como bioindicador e alternativa na remoção dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr em biofertilizante de origem suína. Foi utilizado o esquema fatorial 2x4, sendo os fatores representados pelas partes da planta (aérea e raiz), e pelos quatro tratamentos. Na instalação do experimento coletou-se uma alíquota da solução de cada tratamento para determinar as concentrações iniciais dos metais e, após 30 dias de cultivo, as plantas foram retiradas, coletando-se novamente uma alíquota da solução de cada tratamento. As plantas foram separadas em parte aérea e raiz, secas e trituradas. A macrófita apresentou-se eficiente na remoção dos metais pesados, observou-se que o sistema radicular da macrófita apresentou maiores concentrações de Cd, Pb e Cr. Com este trabalho, conclui-se que a macrófita aquática (*Eichornia crassipes*) pode ser uma alternativa para o tratamento de biofertilizante e dejetos provenientes da suinocultura.

Palavras-chave: plantas aquáticas, poluentes, suinocultura, tratamento de dejetos.

ABSTRACT. Removal of toxic heavy metals cadmium, lead and chromium from swine biofertilizer, using an aquatic macrophyte (*Eichornia crassipes*) as a bioindicator. The objective of this work was to evaluate the efficiency of an aquatic macrophyte (*Eichornia crassipes*) as a bioindicator and as an alternative sorbent for the removal of toxic heavy metals Cd, Pb and Cr from swine biofertilizer. A 2x4 factorial design was used, with the factors represented by plant parts (leaves and roots) and the four treatments. The metal concentrations were determined at the beginning of the experiment and after 30 days. The macrophyte showed good efficiency in the removal of toxic heavy metals from swine biofertilizer. It was observed that its radicular system presented larger amounts of Cd, Pb and Cr than did the leaves. Our results show that *Eichornia crassipes* could be an alternative treatment for biofertilizer and waste from swine culture.

Key words: aquatic plants, pollutants, swine culture, waste treatment.

Introdução

O Brasil, apesar de ser um país continental, utiliza inadequadamente seus recursos naturais por causa da falta de uma política efetiva que estimule o desenvolvimento sustentável. A suinocultura é uma atividade importante do ponto de vista social, econômico e especialmente, como instrumento de fixação do homem no campo. No entanto, se ocorrer o lançamento indiscriminado de dejetos não-tratados em rios, lagos e, no solo, os órgãos de controle ambiental, consideram sua exploração como uma atividade causadora de degradação ambiental, podendo trazer desconforto por consequência da proliferação de moscas, mosquitos,

mau cheiro. Constituindo-se, desta forma, em um risco para a sustentabilidade e expansão da suinocultura como atividade econômica (Scolari, 1997).

Nas últimas décadas, a suinocultura passou por profundas alterações tecnológicas, visando, principalmente, o aumento da produtividade e redução dos custos de produção. A produtividade, por animal e por área, aumentou consideravelmente, passando-se a produzir grandes quantidades de dejetos em pequenas extensões em determinadas regiões do país. Simultaneamente, iniciaram-se os problemas com destinos dos efluentes (Lima, 2002).

Na maioria dos países da Europa, a legislação de

proteção ambiental é muito rígida, com relação aos dejetos produzidos pela suinocultura e outras atividades, dada dificuldade de distribuição deles. No Brasil, a partir de 1991, começou a se dar uma maior importância a este assunto, sendo assim o Ministério Público passou a cobrar o cumprimento da legislação, aplicando advertências, multas e até mesmo o fechamento de granjas em determinados casos (Diesel *et al.*, 2002).

A poluição provocada pelo manejo inadequado dos dejetos de suínos cresce a cada dia. Esta condição tem provocado a busca de soluções, junto aos técnicos, no sentido de viabilizar soluções técnicas adequadas para o manejo e disposição dos dejetos de suínos e que sejam, ao mesmo tempo, compatíveis com as condições econômicas dos produtores, atendam as exigências legais e que sejam de fácil operacionalização. Soluções estas que nem sempre se revelam de fácil execução, sejam por problemas decorrentes de inadequação das instalações, pelas dificuldades financeiras do suinocultor, ou mesmo, pelo desconhecimento dos técnicos com relação as opções tecnológicas mais adequada para cada caso. Porém, recentemente, a questão dos dejetos passou a ser considerada na concepção das edificações suinícolas (Diesel *et al.*, 2002).

Todo criador de suínos deve possuir um programa racional de controle dos dejetos, visando a sua correta utilização para evitar os problemas de poluição. Pela Legislação Ambiental, o produtor pode ser responsabilizado criminalmente por eventuais danos causados ao meio ambiente e à saúde dos homens e a dos animais (Perdomo, 1999).

Os biodigestores podem ser utilizados em sistemas de tratamento de dejetos, onde a matéria orgânica contida nos efluentes é metabolizada por bactérias anaeróbias. Neste processo, os subprodutos obtidos são o gás (biogás), uma parte sólida que decanta no fundo do tanque, e uma parte líquida que corresponde ao efluente mineralizado (Soom, 2005).

O volume de dejetos, que extrapola o limite de utilização agrônômica da propriedade, deve ser obrigatoriamente tratado ou cedido a terceiros. O tratamento se destina a reduzir o potencial poluidor dos dejetos. Com o uso de separadores de fase (decantador), além de valorizar os dejetos para a adubação, reduz os custos de tratamento, armazenamento e distribuição. A combinação do decantador com lagoas anaeróbias, facultativas e lagoas de aguapé ligadas em série, permite a remoção de 98% da carga orgânica poluente e 99,9% dos coliformes fecais, reduzindo eficientemente o potencial poluidor dos dejetos provenientes da suinocultura (Perdomo, 1999).

A macrófita aquática (*Eichornia crassipes*), popularmente denominado de aguapé, pode ser utilizada em estações de tratamento de dejetos como depurador, retentor e removedor de metais como cádmio, níquel, cromo, mercúrio, chumbo, prata, cobalto, estrôncio e, também, de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio, com acentuada redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) das águas, além de reduzir consideravelmente a concentração de coliformes, tornando as águas mais limpas e adequadas para serem lançadas no meio (Matni, 1996).

A expressão “metal pesado” se aplica a elementos que possuem peso específico maior que 5 g cm^{-3} ou que tenham número atômico maior do que 20 (Barceló e Poschenrieder, 1992). O cádmio (Cd) possui número atômico 48 e densidade $8,64 \text{ g cm}^{-3}$, o chumbo (Pb) possui número atômico 82 e densidade $11,35 \text{ g cm}^{-3}$, o cromo (Cr) possui número atômico 24 e densidade $7,18 \text{ g cm}^{-3}$. Segundo Malavolta (1994), a fitotoxicidade dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr variam de 3 a 8 mg kg^{-1} para o cádmio, de 100 a 400 mg kg^{-1} para o chumbo e de 75 a 100 mg kg^{-1} para o cromo.

Com o crescente aumento da atividade suinícola no Brasil, iniciaram-se os problemas gerados pelo manejo inadequado dos dejetos, com isso procuram-se soluções para minimizar estes problemas. Sendo assim, o uso da macrófita aquática (*Eichornia crassipes*), associada a um sistema de tratamento de dejetos, pode ser uma alternativa para reduzir os problemas de contaminação do solo e da água gerados pela atividade.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da macrófita aquática (*Eichornia crassipes*) como bioindicador e alternativa para remoção de metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo em biofertilizante proveniente de dejetos de origem suína.

Material e métodos

O biofertilizante de origem suína foi coletado em uma granja produtora de leitões localizada no município de Marechal Cândido Rondon, Estado do Paraná, após permanecer por um período de 30 dias em um biodigestor tipo tubular.

No momento da coleta do biofertilizante suíno, coletou-se amostras antes e após a passagem pelo biodigestor, amostras da água utilizada na granja, amostras do milho usado na alimentação dos animais e amostras dos concentrados utilizados nas formulações das rações usadas na alimentação dos leitões, das matrizes em gestação e lactação.

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial 2x4 (parte aérea e raiz da macrófita x 4 diluições do biofertilizante) com quatro repetições, totalizando 32 parcelas experimentais.

O biofertilizante suíno foi submetido à floculação/coagulação para a separação das frações sólida e líquida, sendo a primeira descartada e a segunda utilizada como biofertilizante no experimento. Como floculante/coagulante utilizou-se o calcário dolomítico na dose de 20 g L⁻¹ (Santos, 2004), que foi adicionado e posteriormente agitado por 5 minutos para promover a homogeneização; em seguida, deixou-se em repouso por 1 hora para promover a decantação da fração floculada. Em seguida, foram realizadas as diluições da fração líquida do biofertilizante que representam os diferentes tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Tratamentos com os diferentes níveis de diluições da fração líquida do biofertilizante suíno.

Tratamento	Volume de dejetos		Volume de água	
	(L)	(%)	(L)	(%)
Testemunha	0,0	0,0	15,0	100,0
Trat. 1	1,5	10,0	13,5	90,0
Trat. 2	3,0	20,0	12,0	80,0
Trat. 3	4,5	30,0	10,5	70,0

O volume total de todos os tratamentos após a adição de água e dejetos foi de 15 L.

Na instalação do experimento, as macrófitas foram pesadas (massa fresca inicial) e coletaram-se amostras da parte aérea e raiz, amostras do calcário usado como floculante, e amostras da fração sólida e líquida do biofertilizante suíno. Coletou-se, de cada tratamento, uma alíquota para a determinação da concentração dos metais Cd, Pb e Cr, por meio de análise química (Fase 1). Estas amostras (alíquotas) foram digeridas por digestão nitro-peróxido, sendo as determinações de Cd, Pb e Cr realizadas por técnicas de espectrometria de absorção atômica, modalidade chama (EAA/chama) (AOAC, 1990), em um aparelho GBC 932AA. Como limite de detecção dos metais Cd, Pb e Cr, foi utilizado o manual do fabricante (GBC, 1994), sendo 0,009 mg L⁻¹ para o Cd, 0,06 mg L⁻¹ para o Pb e 0,05 mg L⁻¹ para o Cr.

Após 30 dias de cultivo, as plantas foram coletadas e novamente pesadas (massa fresca final) e uma alíquota dos diferentes tratamentos foi coletada para a determinação da capacidade de remoção dos metais pesados Cd, Pb e Cr pela macrófita (Fase 2).

Para determinar as concentrações dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr, no tecido vegetal da

macrófita, foram separadas as plantas em parte aérea e raiz, e, em seguida, as plantas foram secas em estufa com circulação de ar a 65°C por 48 horas e, posteriormente, trituradas. Todas as determinações de Cd, Pb e Cr, das alíquotas e da macrófita (parte aérea e raiz), foram realizadas por digestão nitro-peróxido e técnicas de espectrometria de absorção atômica, modalidade chama (EAA/chama) (AOAC, 1990).

Os dados foram submetidos às análises estatísticas utilizando-se o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas – SAEG (UFV, 1999). Como procedimento estatístico, foi utilizado o Teste F, em nível de 5% de probabilidade, entre as massas das plantas na instalação e coleta do experimento, entre as concentrações de Cd, Pb e Cr presentes nos tratamentos (instalação e coleta do experimento) e entre as concentrações dos metais, encontrados na matéria seca da parte aérea e da raiz da macrófita, e regressão para os níveis de biofertilizante. Foi utilizado o procedimento de correlação de Pearson entre as variáveis avaliadas para a parte aérea e raízes da macrófita.

Resultados e discussão

A Tabela 2 demonstra os teores dos metais pesados Cd, Pb e Cr encontrados no dejetos suíno *in natura*, no biofertilizante após a passagem pelo biodigestor, na água utilizada na granja, no concentrado usado para produção da ração usada para alimentação das matrizes em lactação, gestação, na alimentação dos leitões, e no milho usado na produção das rações.

Tabela 2. Teores de metais pesados Cd, Pb e Cr encontrados no biofertilizante, na água, no milho e nos concentrados usados na alimentação dos leitões.

	Cd	Pb	Cr
	----- mg kg ⁻¹ -----		
Biofertilizante <i>in natura</i>	ND	ND	ND
biofertilizante após biodigestor	ND	4,00	ND
Água	ND	ND	ND
Conc. para matriz em lactação	3,30	35,00	5,80
Conc. para matriz em gestação	3,10	38,00	5,40
Conc. para leitões	0,40	15,50	ND
Milho	ND	5,00	ND

ND – Não detectado pelo método EAA/chama.

Na instalação do experimento, coletaram-se amostras do calcário dolomítico usado como floculante, da fração líquida e sólida do biofertilizante suíno após a floculação/coagulação química, da parte aérea e das raízes da macrófita e da água usado no experimento. Nestas amostras, determinaram-se os teores dos metais pesados Cd, Pb e Cr (Tabela 3).

Tabela 3. Teores dos metais pesados Cd, Pb e Cr encontrados nas amostras retiradas na instalação do experimento.

	Cd	Pb	Cr
	mg kg ⁻¹		
Calcário	4,80	50,50	4,50
Fração líquida	ND	4,50	ND
Fração sólida	0,40	9,00	ND
Parte aérea	ND	9,5	ND
Raiz	0,60	10,5	6,5
Água	ND	ND	ND

ND – Não detectado pelo método EAA/chama.

Na Tabela 4 são apresentadas as concentrações de Cd, Pb e Cr encontradas nos diferentes tratamentos na fase inicial (instalação do experimento) e na fase final do experimento, após 30 dias de cultivo.

Tabela 4. Concentrações (mg L⁻¹) dos metais Cd, Pb e Cr no biofertilizante na instalação (Fase 1) e na coleta (Fase 2) do experimento em função dos tratamentos.

Metais (mg L ⁻¹)	Fase	Tratamento				CV (%)
		0	1	2	3	
Cd	1	ND	ND	ND	ND	-
	2	ND	ND	ND	ND	-
	CV (%)	-	-	-	-	-
Pb	1	ND ^{AD}	0,50 ^{AC}	0,95 ^{AB}	1,40 ^{AA}	31,31
	2	ND ^{AA}	ND ^{BA}	ND ^{BA}	ND ^{BA}	-
	CV (%)	-	24,45	27,45	20,46	-
Cr	1	ND	ND	ND	ND	-
	2	ND	ND	ND	ND	-
	CV (%)	-	-	-	-	-

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas, nas colunas, e mesmas letras maiúsculas, nas linhas não diferem estatisticamente entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de F.

ND – Não detectado pelo método EAA/chama, considerado 0,00 na análise estatística.

Como se pode observar, não foram detectadas concentrações dos elementos Cd e Cr nos diferentes tratamentos pelo método utilizado, no entanto não significa que não estejam presentes, podendo estar em concentrações abaixo do limite de detecção do método. Com relação ao Pb, observou-se que na instalação do experimento (Fase 1), houve aumento da concentração de Pb nos tratamentos à medida que se aumentou a porcentagem de biofertilizante suíno. Observou-se que na coleta do experimento (Fase 2), as concentrações iniciais de Pb nos tratamentos haviam se reduzido até não apresentar nenhum teor deste metal, demonstrando que houve remoção do Pb pela macrófita.

Na Tabela 5 estão apresentados os valores de massas fresca da macrófita nos diferentes tratamentos no momento da instalação do experimento (1 – massa fresca inicial) e na coleta do experimento após 30 dias de cultivo (2 – massa fresca final).

Como se pode observar, na Tabela 5, que houve aumento da massa fresca da macrófita, após o período de 30 dias de cultivo (massa fresca final) em todos os tratamentos, sendo que o tratamento 2 (20% de biofertilizante suíno) apresentou maior acúmulo de massa, significando que esta é a concentração de biofertilizante em que a macrófita

melhor se desenvolveu. Segundo Wolverton e McDonald (1979), a macrófita aquática (*Eichornia crassipes*) possui reservas de nutrientes suficientes para se desenvolverem em meios nutricionais pobres, o que explica o aumento da massa observado na Testemunha (Tratamento 0).

Tabela 5. Massa média das plantas na instalação (1 - massa fresca inicial) e na coleta (2 - massa fresca final) do experimento em função dos tratamentos.

Massa (g)	Tratamento				CV (%)
	0	1	2	3	
1	195,52 ^{BA}	190,70 ^{BA}	179,95 ^{BA}	183,65 ^{BA}	15,89
2	363,76 ^{AC}	500,89 ^{AB}	561,57 ^{AA}	253,49 ^{AD}	11,18
CV (%)	11,25	14,29	12,70	13,68	-

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas, nas colunas, e mesmas letras maiúsculas, nas linhas, não diferem estatisticamente entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de F.

Na Tabela 6 estão mostradas as concentrações de Cd, Pb e Cr encontrados no tecido (parte aérea e raiz) da macrófita. Não foi obtida interação significativa entre as partes da macrófita para o cádmio ($p > 0,05$), entretanto, obteve-se interação significativa para o chumbo ($p < 0,05$) e para o cromo ($p < 0,01$).

Tabela 6. Concentração média (mg kg⁻¹) de metais pesados Cd, Pb e Cr encontrados na matéria seca, partes aérea (A) e raiz (R) da macrófita, em função dos tratamentos.

Metais (mg kg ⁻¹)	Partes	Tratamento				CV (%)
		0	1	2	3	
Cd	A	ND ^A	1,45 ^A	3,30 ^A	2,50 ^A	44,30
	R	1,57 ^A	3,77 ^A	4,42 ^A	3,92 ^A	35,24
	CV (%)	29,35	31,26	42,57	37,69	-
Pb	A	0,42 ^B	1,25 ^B	8,33 ^A	9,83 ^A	28,85
	R	5,92 ^A	5,42 ^A	8,67 ^A	10,42 ^A	30,26
	CV (%)	23,28	29,35	25,46	23,95	-
Cr	A	ND ^A	ND ^A	1,28 ^B	1,72 ^B	48,89
	R	0,49 ^A	1,71 ^A	14,15 ^A	19,42 ^A	44,12
	CV (%)	31,30	29,78	42,32	40,54	-

Letras diferentes nas colunas para cada elemento diferem-se entre si pelo teste de F a 5% para o Cd e Pb e a 1% para o Cr.

ND – Não detectado pelo método EAA/chama, considerado 0,00 na análise estatística.

No caso do Cd, foi obtida diferença estatística ($p < 0,01$) entre as partes, aérea e raiz da macrófita, ao utilizar as médias gerais de cada parte da planta, onde o maior valor médio para a raiz foi 3,42 mg kg⁻¹ em relação ao valor médio da parte aérea 1,81 mg kg⁻¹. Pode-se observar que para o Pb houve diferença estatística entre as partes da macrófita apenas para a testemunha (Tratamento 0) e para o Tratamento 1 (10% de biofertilizante suíno). Analisando o Cr, observou-se o inverso, ou seja, houve diferença estatística entre a parte aérea e a raiz da macrófita nos Tratamentos 2 e 3 (20 e 30% de biofertilizante suíno).

Na Figura 1 estão apresentadas as concentrações de Cd encontrados no tecido (matéria seca) da macrófita em função dos diferentes níveis de diluição da fração líquida do biofertilizante suíno. Foi obtido um efeito quadrático ($p < 0,05$)

apresentando maior absorção de Cd, pela macrófita aquática, ao se utilizar 21,83% da fração líquida do dejetos suíno (Tratamento 2).

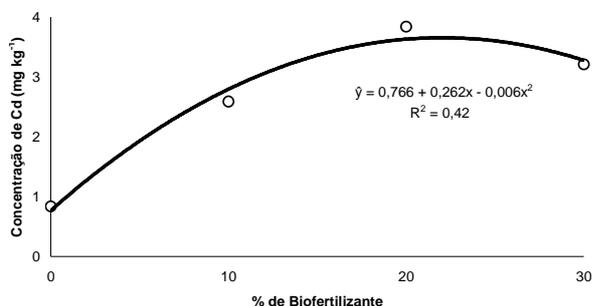


Figura 1. Concentração de Cd encontrado na matéria seca da macrófita, em função dos diferentes tratamentos.

Nas Figuras 2 e 3 estão apresentadas as concentrações de Pb e Cr encontradas no tecido da macrófita (parte aérea e raiz) em função dos diferentes níveis de diluições do biofertilizante suíno. Obteve-se efeito linear, em que é observado que o ponto de maior absorção destes elementos pelas partes aérea e raiz da macrófita estão além do tratamento que utilizou 30% de biofertilizante, ou seja, a macrófita aquática possui capacidade de absorver maiores quantidade destes elementos do que lhe foi fornecido no experimento. Como pode-se observar, as maiores concentrações destes metais estão presentes nas raízes da macrófita.

Mukherjee e Mondal (1995), estudando a absorção de chumbo pelo aguapé, na faixa de 0,5 a 10 mg L⁻¹ de contaminante, obtiveram em seus resultados 85 a 92% de remoção de chumbo para um tempo de remoção 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 a 128 ppm, observaram que a remoção de chumbo pelo aguapé diminuía à medida que a concentração de chumbo aumenta, principalmente na faixa acima de 45 ppm.

Tabela 7. Valores de correlações de Pearson entre parâmetros analisados.

	TRAT.	M.A.	M.R.	R.Cd	R.Pb	R.Cr	C.A.Cd	C.A.Pb	C.A.Cr	C.R.Cd	C.R.Pb
TRAT.											
M.A.	-0,22 ^{NS}										
M.R.	-0,74 ^{NS}	-0,17 ^{NS}									
R.Cd	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}								
R.Pb	1,00*	-0,18 ^{NS}	-0,79 ^{NS}	0,00 ^{NS}							
R.Cr	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}						
C.A.Cd	0,85 ^{NS}	0,31 ^{NS}	-0,89**	0,00 ^{NS}	0,88 ^{NS}	0,00 ^{NS}					
C.A.Pb	0,95**	-0,18 ^{NS}	-0,89**	0,00 ^{NS}	0,97**	0,00 ^{NS}	0,87 ^{NS}				
C.A.Cr	0,93**	-0,52 ^{NS}	-0,63 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,93**	0,00 ^{NS}	0,65 ^{NS}	0,92**			
C.R.Cd	0,80 ^{NS}	0,40 ^{NS}	-0,72 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,81 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,96**	0,74 ^{NS}	0,54 ^{NS}		
C.R.Pb	0,92**	-0,41 ^{NS}	-0,80 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,93**	0,00 ^{NS}	0,72 ^{NS}	0,97**	0,98**	0,57 ^{NS}	
C.R.Cr	0,96**	-0,28 ^{NS}	-0,84 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,97**	0,00 ^{NS}	0,82 ^{NS}	0,99*	0,96**	0,69 ^{NS}	0,99*

TRAT. = tratamentos; M.A. = massa aérea; M.R. = massa da raiz; R.Cd, Pb e Cr = quantidade removida de Cd; Pb e Cr; C.A.Cd, Pb e Cr = concentrações de Cd, Pb e Cr na parte aérea; C.R.Cd, Pb e Cr = concentrações de Cd, Pb e Cr na raiz.

*, **significativo a 1 e 5%, respectivamente.

^{NS}não significativo.

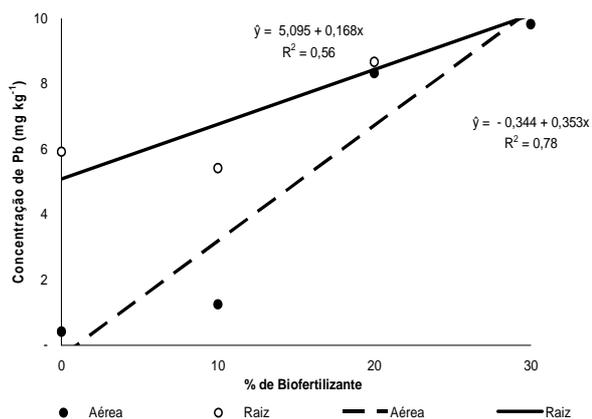


Figura 2. Concentração de Pb encontrado na matéria seca (parte aérea e raiz) da macrófita, em função dos diferentes tratamentos.

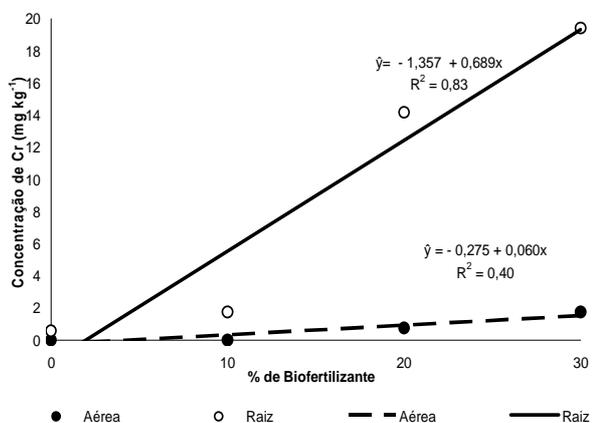


Figura 3. Concentração de Cr encontrado na matéria seca (parte aérea e raiz) da macrófita, em função dos diferentes tratamentos.

Na Tabela 7 estão apresentadas as correlações existentes entre os tratamentos (níveis de diluição do biofertilizante suíno), e o parâmetro massa fresca final, separando-se em parte aérea e raiz da macrófita, quantidade removida de Cd, Pb e Cr dos tratamentos e concentração de Cd, Pb e Cr presentes na parte aérea e nas raízes da macrófita.

Os fatores que se destacaram pela significativa correlação com os tratamentos foram a remoção de Pb pela macrófita, a concentração de Pb e Cr na parte aérea e raiz. A massa do sistema radicular apresentou correlação negativa com a concentração de Cd e Pb na parte aérea da macrófita, significando que com o aumento da concentração destes elementos, houve redução na massa do sistema radicular da macrófita. A quantidade removida de Pb apresentou correlação com a concentração de Pb e Cr na parte aérea e raiz. A concentração de Cd, na parte aérea, apresentou correlação com a concentração de Cd na raiz. A concentração de Pb, na parte aérea, apresentou correlação com a concentração de Cr, na parte aérea, e com a concentração de Pb e Cr na raiz. A concentração de Cr, na parte aérea, apresentou correlação com a concentração de Pb e Cr na raiz. A concentração de Pb, na raiz, apresentou correlação com a concentração de Cr no sistema radicular.

Oliveira *et al.* (2001), em trabalhos com a macrófita *Eichornia crassipes*, encontraram valores de correlação de -0,91 e -0,81 para as concentrações de Cd na raiz e na parte aérea em relação ao crescimento relativo das plantas.

Conclusão

Com este trabalho, conclui-se que a macrófita aquática (*Eichornia crassipes*) é eficiente na remoção dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr de biofertilizante proveniente de dejetos suínos, sendo que as maiores concentrações destes metais são encontradas no sistema radicular e não na parte aérea da macrófita.

Portanto, a macrófita aquática (*Eichornia crassipes*) pode ser utilizada como bioindicador e removedor de metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr em sistemas de tratamentos de dejetos de origem suína.

Referências

AKCIN, G. *et al.* Removal of lead by water hyacinth (*Eichornia crassipes*). *J. Environ. Sci. Health A*, New York, v. 29, p. 2177-2183, 1994.

AOAC-Association of official analytical chemists. *Official methods of analysis*. 15. ed. Arlington, 1990. v. 1.

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. *Suelo*

Planta, Madrid, n. 2, p. 345, 1992.

DIESEL, R. *et al.* Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos. Porto Alegre: Emater, 2002.

GBC-General Binding Corporation. *Flame methods manual for atomic absorption by scientific GBC equipment*. Victoria, 1994.

LIMA, G.J.M.M.A. *Poliuição ambiental por dejetos de suínos e o papel dos técnicos e nutricionistas*. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2002. Disponível em: <<http://www.embrapasuínoseaves.br>>. Acesso em: 20 maio 2004.

MALAVOLTA, E. *Fertilizantes e seu impacto ambiental: metais pesados, mitos, mistificação e fatos*. São Paulo: Produquímica, 1994.

MATNI, A.S. *As macrófitas aquáticas mais frequentemente encontradas nos Lagos Bolonha e Água Preta do Parque Ambiental de Belém*. Belém: Universidade Federal do Pará, 1996.

MUKHERJEE, S.; MONDAL, G.C. Removal of lead by water hyacinth. *J. Chem. Technol.*, Indian, v. 2, p. 59-62, 1995.

OLIVEIRA, J.A. *et al.* Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de aguapé e salvinia. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.*, Londrina, v. 13, n. 3, p. 329-341, 2001.

PERDOMO, C.C. *Sugestões para o manejo, tratamento e utilização de dejetos suínos*. Concórdia: Embrapa, 1999.

SANTOS, A.L. *Separação da fração sólida e líquida de biofertilizante suíno utilizando diferentes floculantes*. 2004. Monografia (Graduação em Agronomia)-Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2004.

SCOLARI, T.M.G. *Sistema de utilização e tratamento de dejetos suínos*. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1997. Disponível em: <<http://www.embrapasuínoseaves.br>>. Acesso em: 20 maio 2004.

SOOM, M.A. *Conversão do lixo urbano em energia por meio da digestão anaeróbia*. Serdang: Department of Biological and Agricultural Engineering. Disponível em: <<http://www.agriculturaurbana.org.br>>. Acesso em: 22 jul. 2005.

UFV-Universidade Federal de Viçosa. Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas). Viçosa: UFRV, 1999.

WOLVERTON, B.C.; McDONALD, R. The water hyacinth from prolific pest to potential provider. *Ambio*, Stockholm, v. 8, n. 1, p. 2-9, 1979.

Received on August 22, 2007.

Accepted on October 26, 2007.