



Teor de zinco, cádmio e chumbo em plantas de arroz em solos incubados com resíduo siderúrgico

André F. M. de Andrade¹, Nelson M. B. do Amaral Sobrinho² & Nelson Mazur²

RESUMO

Os efeitos da aplicação de resíduo siderúrgico, proveniente da concentração de Zn em lama de altos fornos siderúrgicos, como fonte de Zn às plantas de arroz e a toxicidade de Cd e Pb no resíduo, foram avaliados em experimento. O material de solo usado proveio do horizonte superficial dos solos Latossolo Vermelho Amarelo (LVA); Neossolo Flúvico (RU) e Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), coletados no município de Pinheiral, Estado do Rio de Janeiro; utilizou-se a variedade de arroz (*Oryza sativa* L.) BRS Curinga. As plantas foram coletadas aos 145 dias após a semeadura; aquelas crescidas no Neossolo Flúvico apresentaram a maior produção de matéria seca e a maior acumulação de zinco, mas a menor de cádmio, enquanto as desenvolvidas no Argissolo Vermelho Amarelo indicaram a menor produção de matéria seca, menor acumulação de zinco, mas maior de chumbo e de cádmio. O extrator DTPA foi alvo de correlações elevadas e significativas com as concentrações de chumbo, cádmio e zinco, nas raízes e na parte aérea e, com a quantidade acumulada nas plantas, mostrando-se bom indicador da biodisponibilidade desses três metais. Pelas características apresentadas nos solos estudados e pelas concentrações fitotóxicas do chumbo e do cádmio encontradas nas plantas desenvolvidas no PVA, não é recomendável a utilização desse resíduo como fonte de zinco para a cultura do arroz.

Palavras-chave: metais pesados, poluição, reciclagem, *Oryza sativa* L

Contents of zinc, cadmium and lead in rice plants in soils incubated with slag

ABSTRACT

The effects of the application of slag, from the concentration of Zn in the mud of steel slag, as a source of Zn for rice plants and the toxicity of Cd and Pb in the residue were studied in a greenhouse during the period from April 2005 to March 2006. The material used came from the surface horizon of a Red Yellow Oxisol (LVA); Fluvic Entisol (RU) and Red Yellow ultisol (PVA), collected in the municipality of Pinheiral, in the State of Rio de Janeiro. The variety of rice (*Oryza sativa* L.) BRS Joker was used. Plants were harvested at 145 days after sowing; those grown in Fluvic Entisol had the highest dry matter production and higher zinc accumulation, but smaller accumulation of cadmium, while the ones in the Typic soil showed the lowest dry matter production, lower accumulation of zinc, but higher lead and cadmium accumulation. The DTPA extractor was subjected to high and significant correlations with the concentrations of lead, cadmium and zinc in roots and shoots and, with the total amount accumulated in plants, showed as a good indicator of the bioavailability of these three metals. According to the characteristics presented in the soils studied and the phytotoxic concentrations of lead and cadmium found in plants grown in PVA, the use of this residue as a source of zinc for rice cultivation is not recommended.

Key words: heavy metals, pollution, recycling

¹ Companhia Siderúrgica Nacional, Rua 21 n.10, CEP 27260 390 Volta Redonda, RJ. Fone: (24) 3344 6475. E mail: andre.andrade@csn.com.br

² Departamento de Solos/UFRRJ, BR 465, km 7, CEP 23890 000 Seropédica, RJ. Fone: (21) 3787-3772. E mail: nelmoura@ufrj.br; nelmazur@ufrj.br

INTRODUÇÃO

O elevado volume de resíduos gerados na siderurgia faz com que esse tipo de atividade industrial se mantenha em permanente busca de destinos e, como meta, uma agressão ambiental menor com pouco dispêndio de recursos (Lombi et al., 2002; Andrade et al., 2008). A geração anual de aço no mundo foi de 1,13 bilhão de toneladas no ano de 2005 enquanto no Brasil foi de 31 milhões de toneladas (IBS, 2006). O índice de geração é de 700 kg de resíduo por tonelada de aço o que perfaz cerca de 20 milhões de toneladas de resíduos por ano (IISI, 1994). Entre os destinos dados aos resíduos siderúrgicos estão à reciclagem; a venda, pavimentação, uso agrícola e o menos interessante, a disposição em aterros (Andrade et al., 2008).

Muitas indústrias têm produzido resíduos ricos em zinco passíveis de serem utilizados como fertilizante na agricultura havendo, porém, a necessidade de se intensificar uma pesquisa integrada de aproveitamento dos resíduos industriais, como maneira viável de minimizar os impactos causados ao meio ambiente por esses materiais, que podem adicionar ao solo metais pesados potencialmente tóxicos, como o chumbo e o cádmio (Carneiro et al., 2002; Castaldi & Melis, 2004; Gichner et al., 2006; Andrade et al., 2008).

Segundo Oliveira et al. (2005), admite-se que nos solos brasileiros, devido à grande frequência de deficiência de zinco em muitas culturas, a disponibilidade do nutriente seja pequena. Barbosa Filho et al. (1990; 1992), citam que o zinco é o micronutriente cuja deficiência mais tem limitado a produção de arroz de sequeiro no Brasil e que pequenas quantidades (35 kg ha⁻¹) tem sido suficiente para a correção desse elemento no solo, causando durante mais de 4 anos efeito residual.

O resíduo siderúrgico proveniente da concentração de lama de altos fornos siderúrgicos apresenta elevadas concentrações de zinco (3,1%), o que originou a proposta de utilizá-lo como fonte desse micronutriente para as plantas, uso que, além da crescente demanda pelo mercado, permitiria um destino mais adequado ao resíduo; entretanto, outros metais pesados são normalmente detectados no processo siderúrgico, entre eles o chumbo e o cádmio.

Objetivou-se neste trabalho avaliar se o resíduo Concentrado de Lama dos Altos Fornos da CSN, disponibiliza zinco para o suprimento adequado da cultura de arroz em diferentes solos e, também, se provoca toxicidade às plantas por cádmio e chumbo.

MATERIAL E MÉTODOS

O resíduo foi analisado conforme legislação ambiental vigente, segundo a Norma 10004 (ABNT, 2004) para sua classificação e como fonte de zinco às plantas. As concentrações de cádmio e chumbo no ensaio de lixiviação foram de 0,74 e 12,8 mg L⁻¹, respectivamente, acima, portanto, do limite máximo permitido de 0,5 e 1,0 mg L⁻¹; desta forma, o resíduo foi classificado como Classe I, de acordo com a mesma Norma 10004 da ABNT. Os valores de Zn; Cd; Pb; Fe; Mn; Cu; Cr e Al no resíduo, foram de: 31060; 500; 15960; 147200; 6150; 50; 10 e 14380 mg kg⁻¹, respectivamente. Amostras de terra de três solos, um Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) e Neossolo Flúvico (RU) no município de Pinheiral, RJ, foram coletadas na profundidade de 0-20 cm. Os atributos físicos e químicos (Tabela 1) foram determinados conforme as metodologias sugeridas por EMBRAPA (1997).

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), município de Seropédica, RJ (22° 47' de latitude sul e 43° 40' de longitude oeste), as amostras de solo após secadas ao ar e passadas em tamis de malha de 4,0 mm, e incorporadas a 4 kg de cada solo com o resíduo e então acondicionados em vasilhames plásticos de 5 L, sem drenagem.

Utilizaram-se quatro doses de resíduos (base seca) correspondentes a: 94; 281; 844 e 2531 kg ha⁻¹, que continham 3; 9; 27 e 81 kg Zn ha⁻¹; 1,6; 4,8; 14,4 e 43,2 kg Pb ha⁻¹, e 0,05; 0,15; 0,45 e 1,35 kg Cd ha⁻¹. Os valores contidos a partir da segunda dose já apresentavam teores de zinco próximos às necessidades de algumas culturas e na maior dose do resíduo o valor de zinco já é considerado fitotóxico para certas culturas (Fageria, 2000). Utilizou-se o arroz (*Oryza sativa* L.) variedade BRS Curinga por ser responsiva à adição de zinco (Fageria, 2000) em unidades experimentais que seguiram o delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial 3x5x4.

Após a incubação do resíduo com cada solo, durante 60 dias, fez-se a extração simples com DTPA 0,005 mol L⁻¹ para avaliar a biodisponibilidade de zinco, cádmio e chumbo. O preparo da solução consistiu em se dissolver 149,2 mL de TEA, 19,67 g de DTPA e 14,7 g de CaCl₂.2H₂O em aproximadamente 2,0 L de água deionizada; após a dissolução do DTPA ele foi diluído para 9 L, o pH foi ajustado para 7,3 ± 0,05 com HCl 1:1; em seguida, o volume foi completado para 10 L com água deionizada. A extração consistiu em se agitar, durante 2 h, 15 g do solo com 30 mL da solução de DTPA (Lindsay & Norvell, 1978).

Fez-se a semeadura com arroz mantendo-se 4 plantas de arroz por unidade experimental. Durante o período de incuba-

Tabela 1. Características químicas e físicas das amostras dos solos utilizadas

Solo	Prof. (cm)	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	S(%)	T(%)	V(%)	P	K	C	Zn	Cd	Pb	Densidade (g cm ⁻³)	Granulometria (g kg ⁻¹)		
			cmol _c (dm ³) ⁻¹			mg kg ⁻¹				(g kg ⁻¹)	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	Areia	Silte		Argila		
LVA	0-20	5,9	1,2	1,3	7,1	0,0	2,6	9,6	26	5	56	22,5	15,8	nd	12	1,03	470	100	430
PVA	30-50	4,5	0,6	0,1	5,6	1,9	0,7	7,3	10	1	11	7,6	9,9	nd	13	1,18	370	60	570
RU	0-20	5,8	3,2	2,4	3,3	0,0	6,0	9,3	74	52	136	8,9	79,0	nd	21,7	1,14	658	166	176

pH em água (1:2,5); Ca e Mg, H+Al extraídos em KCl 1N; Al extraído em acetato de cálcio 1N a pH 7,0; P - extraído com solução Carolina do Norte, K - extraído com dicromato de potássio 1N; C - Walkley Black

ção a umidade foi mantida a 80% da capacidade de campo, através da diferença de pesagens dos potes. Os nutrientes e suas dosagens aplicadas estão indicadas na Tabela 2. Ao final do experimento foram colhidas, separadamente, as folhas, colmos e raízes, lavadas em água de torneira e em água deionizada, após a secagem em estufa com circulação de ar até atingirem massa constante. Cada material foi triturado em moinho tipo Willey com malha de 2 mm. Utilizou-se o procedimento metodológico de digestão proposto por Tedesco et al. (1995) com ácido nítrico (65%) e ácido perclórico (85%) na proporção 2:1 com 5 mL para cada 0,250 g de amostra analisada. No extrato obtido foram determinados os teores de zinco, chumbo e cádmio por espectrofotometria de absorção atômica em aparelho Varian AA600 com LD (mg kg^{-1}) de 0,12 para Cd, 0,10 para Pb e 0,20 para Zn e LQ (mg kg^{-1}) de 0,5 para Cd, 0,5 para Pb e 0,7 para Zn.

Tabela 2. Quantidade adicionada (mg kg^{-1} solo) e fonte dos nutrientes aplicados

Nutriente	1ª dose		2ª dose	
	Quantidade	Fonte	Quantidade	Fonte
N	295	NH ₄ NO ₃	100	NH ₄ NO ₃
P	370	KH ₂ PO ₄	-	-
K	84	KH ₂ PO ₄	84	KCl
Mg	15	MgSO ₄	15	MgSO ₄
Ca	-	-	60	CaCl ₂

* 7 dias antes da semeadura; ** 60 dias após semeadura (emissão floral)

Os resultados foram submetidos a análise de variância, teste de Tukey e regressão polinomial utilizando-se o programa SAEG, versão 5.0, desenvolvido por Euclides (1983).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A extração de zinco com DTPA aumentou em função da dose aplicada nos três solos (Tabela 3). Verifica-se, também, que as concentrações referentes ao Neossolo Fúlvico (RU) são quase o dobro das determinadas nos LVA e PVA.

As maiores extrações de cádmio e chumbo foram registradas no PVA, principalmente nas maiores doses do resíduo aplicado. Conforme (Basta & McGowen, 2004; Oliveira et al., 2005; Santos et al., 2006; Fadigas et al., 2006), esta maior extração pode ser devida ao menor valor de pH observado neste solo (Tabela 1). Segundo Accioly et al. (2004) e Sposito (2008), a redução de uma unidade de pH aumenta cerca de 100 vezes a solubilidade do cádmio e do chumbo.

As maiores concentrações de Zn foram determinadas nas raízes em relação à parte aérea dos três solos estudados (Figura 1). Pelos dados, a espécie utilizada não transferiu zinco das raízes para a parte aérea nem desta para os grãos. Neste sentido, Bonnacarrère et al. (2004) mencionam a tendência do zinco de se acumular nas raízes, sobretudo, quando absorvido em grandes concentrações. Oliveira et al. (2005), também constataram após trabalhar com lodo de esgoto contaminado

Tabela 3. Teor biodisponível de zinco, cádmio e chumbo em função das doses do resíduo e tipo de solo

Dose ($\text{kg resíduo ha}^{-1}$)	Solo (mg kg^{-1})		
	LVA	RU	PVA
Zinco			
0	2,50 (15,3)*dc B	13,76 (17,4) cA	0,90 (9,65) dC
94	3,20 (19,0) cB	14,58 (18,11) cA	1,95 (18,0) dB
281	4,60 (22,0) cB	14,08 (16,86) cA	3,22 (23,30) cB
844	10,80 (36,19) bB	18,16 (19,63) bA	6,20 (27,17) bC
2531	21,00 (36,94) aB	44,00 (36,82) aA	22,00 (44,16) aB
Cádmio			
0	nd	nd	nd
94	nd	nd	nd
281	nd	nd	0,05c
844	nd	0,14 (13,2) bA	0,21 (24,4) bA
2531	0,25 (18,5) aB	0,20 (13,24) aB	0,41 (31,29) aA
Chumbo			
0	1,5 (9,3) cA	1,26 (5,8) dB	1,52 (11,1) dA
94	1,5 (9,4) cB	1,50 (6,6) dB	1,9 (13,1) dA
281	2,36 (12,7) bB	2,20 (9,1) cB	3,60 (22,4) cA
844	3,60 (15,41) bC	5,96 (20,6) bB	8,10 (38,7) bA
2531	12,46 (33,0) aA	8,93 (20,6) aB	14,10 (39,9) aA

*Valores entre parênteses representam a percentagem do total extraído com DTPA; Letras minúsculas iguais nas colunas não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade; Letras maiúsculas iguais nas linhas não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade

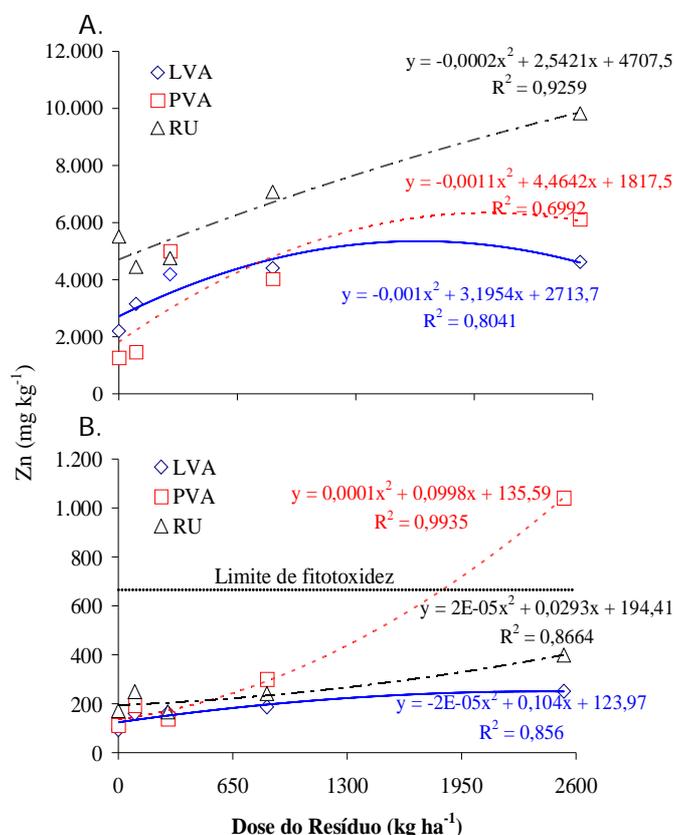


Figura 1. Concentração de zinco na raiz (A) e parte aérea (B) em plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) BR5 Curinga cultivadas nos solos LVA; PVA e RU tratados com resíduo siderúrgico

com zinco, uma translocação menor do zinco da raiz para a parte aérea e grãos de arroz.

A concentração de zinco considerada tóxica na matéria seca foliar de arroz, conforme Fageria (2000), é de 673 mg kg⁻¹. A concentração de zinco observada na maior dose nas plantas desenvolvidas no solo PVA, foi de aproximadamente 1000 mg kg⁻¹, valor três vezes superior ao das plantas de arroz no LVA e RU (Figura 1B). Essas elevadas concentrações podem ter contribuído para a fitotoxicidade das plantas de arroz, resultando na redução da matéria seca total, como observado na maior dose do resíduo, comparada com os outros dois solos (Figura 2).

As menores concentrações de zinco nas plantas de arroz dos solos LVA e RU podem ter sido resposta da diluição provocada pela maior produção de matéria seca total nas plantas desenvolvidas nesses solos (Figura 2). Referidos resultados podem ser um efeito da maior quantidade de zinco acumulada nas plantas de arroz desenvolvidas no solo RU, o que foi superior ao dobro do acumulado nas plantas do PVA (Figura 3). A maior acumulação de zinco nas plantas de arroz crescidas no RU foi causada pela sua maior biodisponibilidade nesse solo como, inclusive, se verifica na Tabela 3, em que a concentração de zinco extraída com DTPA do solo RU, na maior dose do resíduo aplicado, foi de duas vezes a dos solos LVA e PVA, respectivamente.

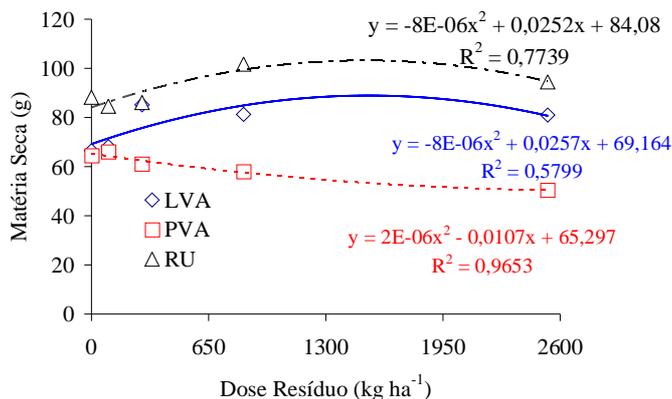


Figura 2. Produção de matéria seca (MS) total (raiz + parte aérea + grão) em plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) BRS Curinga cultivadas nos solos LVA; PVA e RU tratados com resíduo siderúrgico

As concentrações de chumbo nas raízes e parte aérea não apresentaram grande variabilidade entre as plantas desenvolvidas nos solos LVA e RU com o aumento da dose de resíduo aplicado (Figura 4) apesar da maior biomassa nesses solos (Figura 2) e menos chumbo nas plantas (Figura 3), essas duas situações expressam menor biodisponibilidade desse metal nos dois solos (Tabela 3). A solubilidade do chumbo aumenta com a redução do pH (Oliveira et al., 2005; Castaldi et al., 2005) resultando em concentrações mais elevadas desse elemento nas raízes e parte aérea das plantas desenvolvidas sobre o solo PVA (Figura 4), que apresenta menor pH (Tabela 1) e maior biodisponibilidade (Tabela 3). Em geral, a massa de chumbo acumulada nas plantas (Figura 3) também foi mais elevada nesse solo (3 vezes superior ao das plantas do RU e quase 8 vezes maior das plantas do LVA), resposta da sua

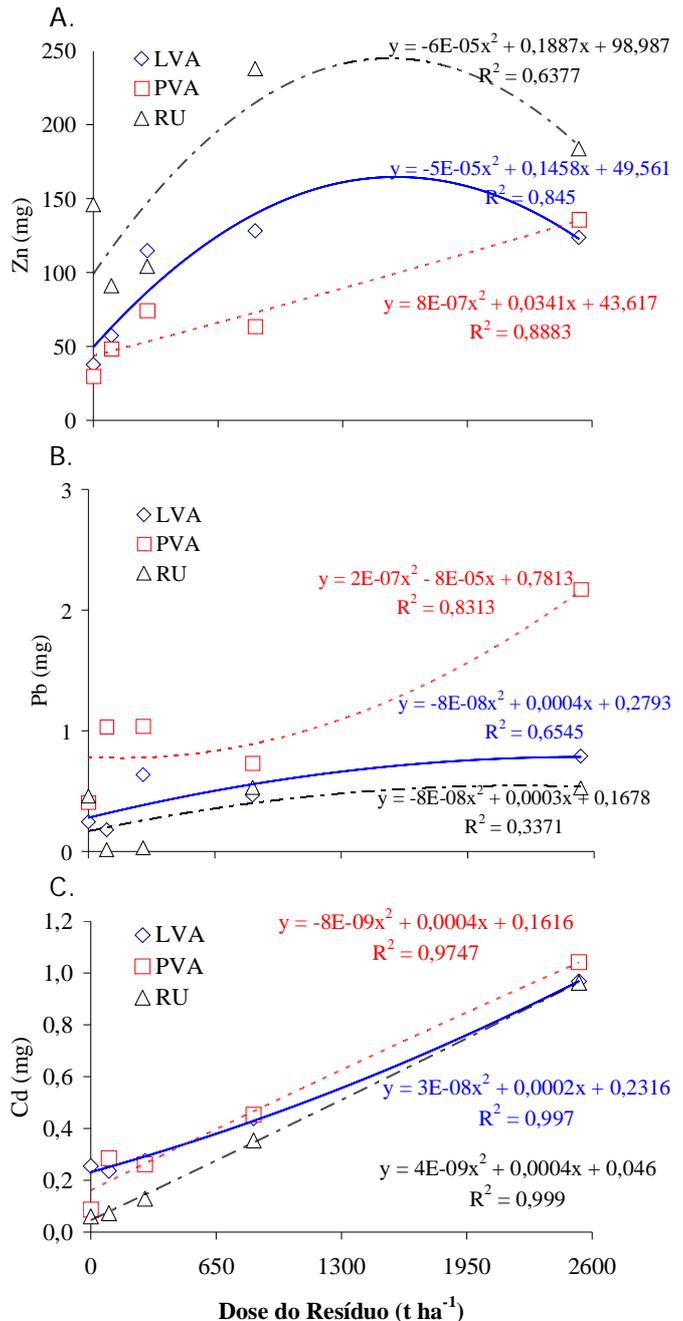


Figura 3. Acumulação de zinco (A); chumbo (B) e cádmio (C) em plantas de arroz cultivadas nos solos LVA; PVA e RU, tratados com resíduo siderúrgico

maior acidez, que resulta em maior biodisponibilidade desse metal no referido solo. Tal acúmulo crescente de chumbo contribuiu para a fitotoxicidade das plantas desenvolvidas no solo PVA, provocando perda da capacidade de produção de matéria seca total das plantas em mais de 20% (Figura 2). Para Pavlíková et al. (2008) e Fageria (2000), valores de redução da produção em torno de 10% são admitidos como efeito da fitotoxicidade.

Sharma & Dubey (2005) e Gupta & Sinha (2007) mencionam a acentuada redução na produtividade de culturas em solos contaminados com chumbo e o fato de que atributos do solo como pH e capacidade de troca catiônica (CTC) afetam a biodisponibilidade no solos e absorção de chumbo pelas

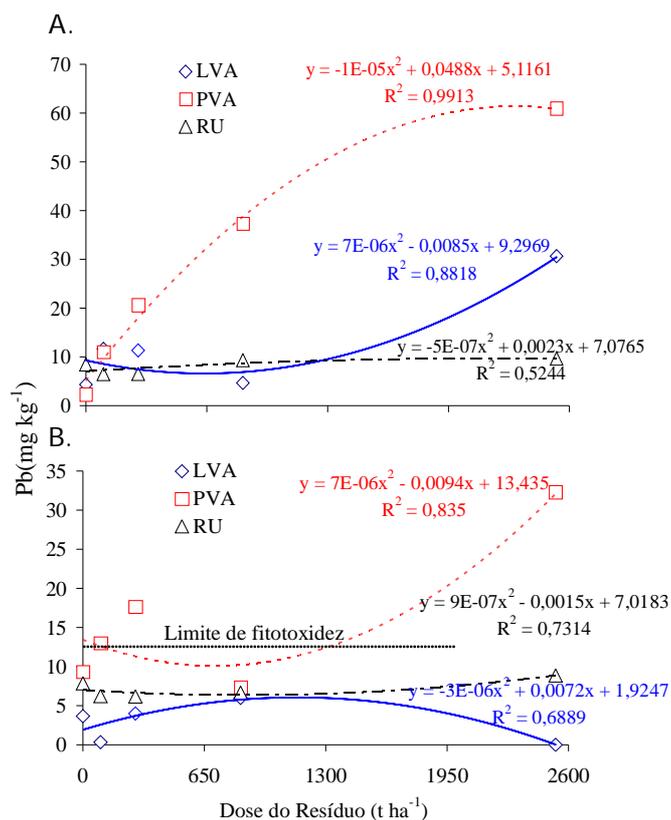


Figura 4. Concentração de chumbo na raiz (A) e parte aérea (B) em plantas de arroz cultivadas nos solos LVA; PVA e RU, tratados com resíduo siderúrgico

plantas. Borges & Coutinho (2004), e Banat et al. (2005) registraram a diminuição na absorção de Pb por plantas com o aumento do pH, situação semelhante à observada nos LVA e RU, e do teor de matéria orgânica, como constatado no LVA. De acordo com os autores, o íon Pb^{2+} pode formar complexos químicos com compostos húmicos enquanto a calagem eleva o pH do solo, resultando na capacidade da matéria orgânica em complexar o metal pesado.

A maior produção de biomassa das plantas nos solos LVA e RU, comparada com a do PVA, indica a melhor condição fisiológica das plantas nesses solos, em que, conforme Alloway (1995) e Castaldi & Melis (2004) o chumbo se precipita nas paredes das células das raízes reduzindo sua translocação para a parte aérea e, conseqüentemente, menor ação fitotóxica.

Quanto ao cádmio, as concentrações nas raízes e folhas também foram elevadas e semelhantes nos solos LVA e RU, aumentando com a dose aplicada e sendo, em geral, maiores nas plantas desenvolvidas no solo PVA (Figura 5). A redução da matéria seca das plantas nesse solo também caracteriza efeito de fitotoxicidade (Figura 2).

A maior dose do resíduo aplicado às plantas de arroz desenvolvidas no solo PVA, acumulou cádmio em conteúdo duas vezes superior ao considerado fitotóxico (Oliveira et al., 2005). Neste solo, nos tratamentos referentes às menores doses do resíduo o baixo teor de zinco foi 8 vezes superior ao do solo RU, o que deve ter contribuído para o aumento da absorção de cádmio pelas raízes, situação que indica competição entre o zinco e o cádmio.

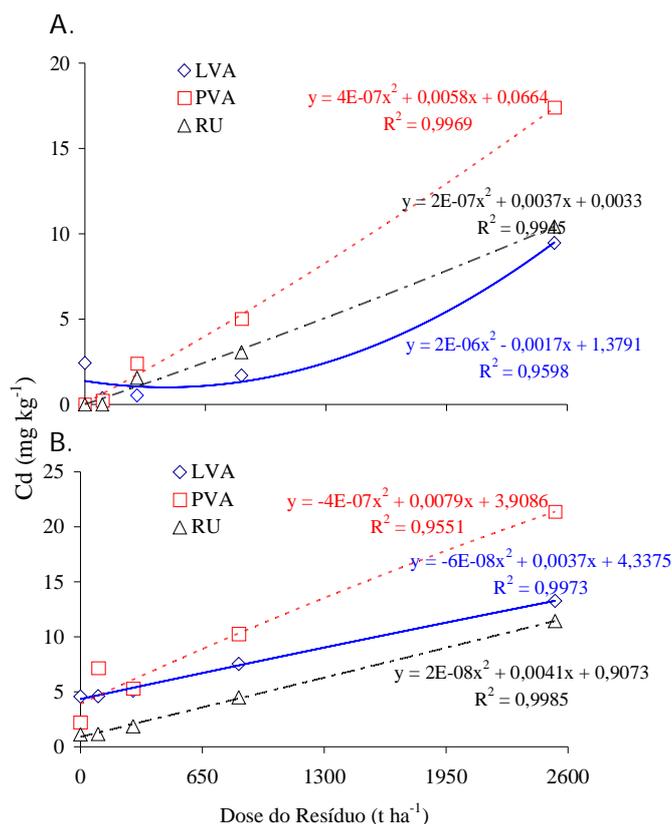


Figura 5. Concentração de cádmio na raiz (A) e parte aérea (B) em plantas de arroz cultivadas nos solos LVA; PVA e RU tratados com resíduo siderúrgico

Concentrações elevadas de Ca^{2+} e H_2PO_4 , como observadas nos solos RU e LVA (Tabela 1), conforme Alloway (1995) e Oliveira et al. (2005), podem interagir com o cádmio, de forma a reduzirem suas atividades nas plantas. Para Alloway (1995), há competição de cálcio com o cádmio reduzindo a absorção deste último pelas plantas. A absorção de cádmio pelas plantas de arroz foi semelhante nos três solos estudados (Figura 3).

Apresentam-se, na Tabela 4, os coeficientes de correlação entre quantidades extraídas com DTPA de zinco, cádmio e chumbo e as concentrações desses elementos nas raízes e parte aérea das plantas. Verificam-se correlações elevadas e significativas entre as quantidades extraídas com DTPA com as quantidades acumuladas desses três elementos em plantas de arroz e com as concentrações nas raízes e parte aérea, demonstrando que tal extrator pode ser utilizado para avaliar

Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson das correlações entre zinco, cádmio e chumbo extraíveis com DTPA e as concentrações nas raízes, folhas e as quantidades acumuladas nas plantas de arroz

Correlações	Coeficiente de Correlação de Pearson (r)		
	Zinco	Cádmio	Chumbo
Conc. Folhas x Extraído com DTPA	0,61*	0,88**	0,92**
Conc. Raízes x Extraído com DTPA	0,82**	0,95**	0,95**
Acumulado na planta x Extraído com DTPA	0,85**	0,89**	0,92**

*significativo a nível de 5% pelo teste Tuckey; ** significativo ao nível de 1% pelo teste Tuckey

a biodisponibilidade desses três metais em solos cultivados com arroz. Correlações elevadas e significativas entre concentrações de zinco, cádmio e chumbo extraídas com DTPA e concentrações em plantas, têm sido observadas em vários trabalhos (Bataglia & Raij, 1989; Paula et al., 1991; Mcgrath, 1996; Qian et al., 1996; Amaral Sobrinho et al., 2009).

CONCLUSÕES

1. O resíduo utilizado foi eficiente em disponibilizar zinco à cultura de arroz em solos com pH superior a 5,5.
2. O acúmulo de zinco e de chumbo foi maior nas raízes enquanto o cádmio se concentrou mais na parte aérea das plantas.
3. As altas concentrações de chumbo e cádmio no resíduo impossibilitam sua utilização como fonte de zinco ao arroz.
4. As elevadas correlações entre as concentrações de zinco, cádmio e chumbo extraídas dos solos com DTPA e as acumuladas nas plantas indicam viabilidade desse extrator para avaliação da biodisponibilidade desses três metais em solos cultivados com arroz.

LITERATURA CITADA

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Classificação de resíduos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71p.
- Accioly, A. M. A.; Siqueira, J. O.; Curi, N.; Moreira, F. M. S. Lime amelioration of zinc and cadmium toxicities for *Eucalyptus camaldulensis* seedlings cultivated in contaminated soil. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.28, p.775-783, 2004.
- Alloway, B. J. Heavy metals in soils. Second edition, London: Blackie A. & P. 1995. 386p.
- Amaral Sobrinho, N. M. B.; Lã, O. R.; Barra, C. M. Química dos metais pesados no solo. In: *Química e Mineralogia do Solo*. 01. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v.2. 685p.
- Andrade, A. F. M. de; Amaral Sobrinho, N. M. B.; Magalhães, M. O. L.; Nascimento, V. S. do; Mazur, N. Zinco, chumbo e cádmio em plantas de arroz (*Oriza sativa* L.) cultivadas em solo após adição de resíduo siderúrgico. *Ciência Rural*, v.38, p.229-233, 2008.
- Banat, K. M.; Howari, F. M.; Al Hamad, A. A. Heavy metals in urban soils of central Jordan: should we worry about their environmental risks. *Environmental Research*, v.97, p.258-273, 2005.
- Barbosa Filho, M. P.; Dynia, J. F.; Zimmermann, F. J. P. Resposta do arroz de sequeiro ao zinco e ao cobre com efeito residual para o milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.14, p.333-338, 1990.
- Barbosa Filho, M. P.; Fageria, N. K.; Silva, O. F.; Barbosa, A. M. Interações entre calagem e zinco na absorção de nutrientes e produção de arroz de sequeiro em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p.355-360, 1992.
- Basta, N. T.; McGowen, S. L. Evaluation of chemical immobilization treatments for reducing heavy metal transport in a smelter contaminated soil. *Environment. Pollution*, v.127, p.73-82, 2004.
- Bataglia, O. C.; Raij, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo, *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.13, p.205-212, 1989.
- Bonnetcarrière, R. A. G.; Londero, F. A. A.; Santos, O.; Schmidt, D.; Pilau, F. G.; Manfron, P. A.; Dourado Neto, D. Resposta de genótipos de arroz irrigado à aplicação de zinco. *Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia*, v.10, p.214-222, 2004.
- Borges, M. R.; Coutinho E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de bio-sólido. II – Disponibilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.557-568, 2004.
- Carneiro, M. A. C.; Siqueira, J. O.; Moreira, F. M. S. Behavior of herbaceous species in soil mixes with different degree of contamination with heavy metal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.1629-1638, 2002.
- Castaldi, P.; Melis, P. Growth and yield characteristics and heavy metals content on tomatoes grown in different growing media. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.35, p.85-98, 2004.
- Castaldi, P.; Santona, L.; Melis, P. Heavy metal immobilization by chemical amendments in a polluted soil and influence on white lupin growth. *Chemosphere*, v.60, p.365-371, 2005.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997. 214p.
- Euclides, R. F. Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para análises estatísticas e genéricas). Viçosa: Imprensa Universitária, 1983. 59p.
- Fadigas, F.; Amaral Sobrinho, N. M. B.; Mazur, N.; Anjos, L. H.; Freixo, A. A. Estimation of reference values for cadmium, cobalt, chromium, copper, lead and zinc in Brazilian soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.37, p.945-959, 2006.
- Fageria, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.3, p.390-395, 2000.
- Gichner, T.; Patková, Z.; Száková J., Demnerová, K. Toxicity and DNA damage in tobacco and potato plants growing on soil polluted with heavy metals. *Ecotoxicology. Environment Safe*, v.65, p.420-426, 2006.
- Gupta, A. K.; Sinha, S. Phytoextraction capacity of the plants growing on tannery sludge dumping sites, *Bioresource. Technology*, v.98, p.1788-1794, 2007.
- IBS - Instituto Brasileiro de Siderurgia. <http://www.ibs.org.br/estatisticas2.asp>. 22 Abr. 2006.
- IISI - International Iron and Steel Institute. The management of steel plant ferruginous by products. Brussels: IISI, 1994. 50p.
- Lindsay, W. L.; Norwell, W. A. Development of a DTPA test zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society American Proceedings*, v.42, p.421-428, 1978.
- Lombi, E.; Zhao, F. J.; Zhang, G.; Sun, B.; Fitz, W.; Zhang, H.; Mcgrath, S. P. In situ fixation of metals in soil using bauxite residue: Chemical assessment. *Environment Pollution*, v.118, p.435-443, 2002.
- Mcgrath, D. Application of single and sequential extraction procedures to polluted and unpolluted soils. *The Science of the Total Environment*, v.178, p.37-44, 1996.

- Oliveira, C.; Amaral Sobrinho, N. M. B.; Marques, V. S.; Mazur, N. Efeitos da aplicação do lodo de esgoto enriquecido com cádmio e zinco na cultura do arroz. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.1, p.109-116, 2005.
- Paula, M. B.; Carvalho, J. G.; Nogueira, F. D.; Mesquita, H. A. Curva de resposta e avaliação de extratores para zinco disponível em solos hidromórficos e aluviais sob arroz inundado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.15, p.49-55, 1991.
- Pavlíková, D.; Pavlík, M.; Staszková, L.; Motyka, V.; Száková, J.; Tlustoš, P.; Balík, J. Glutamate kinase as a potential biomarker of heavy metal stress in plants *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.70, p.223-230, 2008.
- Qian, J.; Shan, X.; Wang, Z.; Tu, Q. Distribution and plant availability of heavy metals in different particle size fractions of soil, *The Science of the Total Environment*, v.186, p.131-141, 1996.
- Santos, F. S. dos; Hernandezallica, J.; Becerril, J. M.; Amaral Sobrinho, N. M. B., Mazur, N.; Garbisu, C. Chelate induced phytoextraction of metal polluted soils with *brachiaria decumbens*. *Chemosphere*, v.65, p.43-50, 2006.
- Sharma, P.; Dubey, R. S. Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.17, n.1, p.35-52, 2005.
- Sposito, G. *The chemistry of soils*, second edition. New York: Oxford University Press. 2008. 321p.
- Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C. A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S. J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*, 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. *Boletim Técnico*, 5.