



## Metais pesados em milho fertilizado com fosfato natural e composto de lodo de esgoto

**Geraldo R. Zuba Junio<sup>1</sup>, Reginaldo A. Sampaio<sup>1</sup>, Guilherme B. Santos<sup>1</sup>,  
Altina L. Nascimento<sup>1</sup>, Fabiano B. de S. Prates<sup>2</sup> & Luiz A. Fernandes<sup>1</sup>**

### RESUMO

Em virtude do elevado teor de nutrientes e matéria orgânica o lodo de esgoto tem sido reportado em diversos trabalhos, como excelente adubo orgânico. Entretanto, a presença de metais pesados pode inviabilizar sua utilização agrícola. Objetivou-se, com este trabalho, avaliar os teores de metais pesados no solo e em folhas de milho fertilizado com fosfato natural e composto de lodo de esgoto. O trabalho foi realizado em área experimental do ICA/UFMG, em CAMBISSOLO HÁPLICO, em Montes Claros, MG. Os tratamentos, em esquema fatorial 2 x 4, foram constituídos de 2 doses de fosfato natural reativo (0 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 4 doses de composto de lodo de esgoto (0; 25; 50 e 75 Mg ha<sup>-1</sup>). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 3 repetições dos tratamentos e 180 plantas por parcela. De modo geral, o fosfato natural não influenciou os teores de metais pesados no solo; entretanto, os teores de Cu, Zn e Pb no solo aumentaram com a aplicação de doses de composto de lodo de esgoto. Aplicações de doses de composto de lodo de esgoto de até 75 Mg ha<sup>-1</sup> não aumentaram os teores de Cu, Zn, Pb, Cd, Ni e Cr acima dos limites críticos estabelecidos pela legislação. Na planta, os teores de Cu, Zn, Pb, Cd e Cr não foram influenciados pela aplicação de fosfato natural porém o teor de Zn aumentou e o de Pb reduziu com a aplicação de doses de composto de lodo de esgoto.

**Palavras-chave:** biossólido, adubação orgânica, poluição do solo

## Heavy metals concentrations in corn fertilized with phosphate rock and sewage sludge compost

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the concentration of heavy metals in soil and leaves of corn fertilized with rock phosphate and sewage sludge compost. The work was conducted at the experimental area of ICA/UFMG, Montes Claros – MG, in Cambisol. The treatments, in factorial 2 x 4, corresponded to two doses of rock phosphate (0 and 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) and four doses of sewage sludge compost (0, 25, 50 and 75 Mg ha<sup>-1</sup>). The experimental design was randomized blocks with three replications of treatments. The rock phosphate did not affect overall levels of heavy metals in soil, however, Cu, Zn and Pb in soil increased with application rates of sewage sludge compost. Applications of sewage sludge compost up to 75 Mg ha<sup>-1</sup> did not increase the concentrations of Cu, Zn, Pb, Cd, Ni and Cr above the critical limits established by legislation. In plants, the concentrations of Cu, Zn, Pb, Cd and Cr were not affected by the application of rock phosphate, however, the Zn concentration increased and Pb concentration decreased with the application rates of sewage sludge compost.

**Key words:** biosolids, organic fertilizer, soil pollution

<sup>1</sup> ICA/UFMG, Av. Universitária n° 1000, Bairro Universitário, CEP 39404-006, Montes Claros, MG. Fone: (38) 2101-7700. E-mail: juniozuba@yahoo.com.br; rsampaio@ufmg.br; guilhermerepresenta@gmail.com; altinalacerda@yahoo.com.br; larnaldo@ufmg.br

<sup>2</sup> UFRRJ, BR 465 Km 7, CEP 23890-000, Seropédica, RJ. Fone: (21) 3787-3692. E-mail: fbprates@gmail.com

## INTRODUÇÃO

A construção das estações de tratamento de esgoto acarreta o aumento do volume de lodo gerado, causando uma preocupação mundial em relação à sua disposição final (Biondi & Nascimento, 2005; Lemainski & Silva, 2006a). Dentro deste contexto torna-se imperiosa a busca de soluções para o destino adequado deste resíduo, sendo sua reciclagem agrícola a alternativa mais promissora, do ponto de vista econômico e ambiental (Martins et al., 2003; Silva et al., 2005; Gomes et al., 2006; Barbosa et al., 2007).

A utilização do lodo de esgoto na agricultura apresenta-se como tendência mundial (Marques et al., 2007). No Brasil, o lodo de esgoto é utilizado com frequência em experimentos com de cana-de-açúcar (Chiba et al., 2008a), e nas culturas do eucalipto (Andrade & Mattiazzo, 2000), café (Bettiol & Camargo, 2000), milho (Simonete et al., 2003; Nascimento et al., 2004; Trannin et al., 2005; Lemainski & Silva 2006a; Nogueira et al., 2006) e Soja (Vieira et al., 2005; Lemainski & Silva, 2006b).

A fertilização de solos agrícolas por meio da aplicação de lodo de esgoto se destaca pela viabilização da reciclagem de nutrientes, promoção de melhorias físicas e químicas do solo e por ser uma solução de longo alcance para destinação deste resíduo (Marques et al., 2002; Melfi & Montes, 2002; Melo et al., 2002; Tsutiya et al., 2002; Silva et al., 2005), podendo ser utilizado na agricultura, silvicultura, floricultura, paisagismo ou na recuperação de áreas degradadas. É uma importante fonte de matéria orgânica e de elementos essenciais às plantas, podendo complementar os fertilizantes minerais e reduzir os custos de produção (Silva et al., 2002; Lemainski & Silva, 2006a). Apresenta, porém, riscos potenciais de contaminação do solo e das plantas com metais pesados podendo limitar, assim, sua utilização como fertilizante (Biondi & Nascimento, 2005; Gomes et al., 2006; Nogueira et al., 2007; Oliveira et al., 2009).

Os metais pesados estão presentes no lodo de esgoto porém não existem resultados conclusivos sobre a efetiva contaminação do solo quando do uso agrícola deste resíduo. Entretanto, a longo prazo o aumento da concentração de metais no solo, resultante da aplicação do lodo, torna-se uma preocupação justificada pois, se não for adequadamente controlado, pode afetar o meio ambiente (Nascimento et al., 2004; Gomes et al., 2006). Isto ocorre em razão das concentrações de metais no lodo serem mais elevadas do que as naturalmente encontradas em solos (Silva et al., 2006).

Galdos et al. (2004) e Silva et al. (2006) constataram aumento nos teores de Cu, Ni, Pb e Zn, em virtude da aplicação de lodo de esgoto em cultivo de milho. De forma similar, Marques et al. (2007), também verificaram aumento nos teores de metais pesados em cultivo de cana-de-açúcar fertilizada com lodo de esgoto. Entretanto, vários outros trabalhos demonstram que a adubação com lodo de esgoto em milho proporciona aumentos nos teores de metais pesados mas que esses permanecem ainda dentro dos níveis estabelecidos pela legislação (Martins et al., 2003; Rangel et al., 2004; 2006; Gomes et al., 2006; Nogueira et al., 2007).

Fertilizantes fosfatados são utilizados intensamente na agricultura haja vista que a baixa disponibilidade de P, principalmente nas condições brasileiras, frequentemente limita

a produtividade das culturas (Freitas et al., 2009). Além disso, a baixa eficiência de absorção de fósforo pelas culturas e a elevada taxa de fixação deste elemento em grande parte dos solos, aumentam ainda mais a necessidade de aplicação desse elemento em solos agrícolas, o que eleva os riscos de contaminação do solo, uma vez que esses fertilizantes constituem uma via de entrada de metais pesados no solo (Campos et al., 2005; Freitas et al., 2009).

O presente trabalho objetivou avaliar os teores de metais pesados no solo e na folha de milho, em resposta à adubação com doses de composto de lodo de esgoto e com fosfato natural.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Campus da UFMG em Montes Claros, MG, latitude 16° 51' 38" S e longitude 44° 55' 00" W. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Aw tropical de savana, com inverno seco e verão chuvoso. A cultura foi implantada em área de Cambissolo Háptico, cujas características químicas e físicas, avaliadas de acordo com metodologias da EMBRAPA (1997), são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características químicas e físicas da área do experimento

Prof. (cm)	pH	M.O.	Areia grossa			Argila
			Areia fina	Silte	(dag kg <sup>-1</sup> )	
0-20	5,5	1,09	13,3	24,7	30	32

Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 2 x 4, constituído de 2 doses de fosfato natural reativo (0 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 4 doses de lodo de esgoto (0; 25; 50 e 75 t ha<sup>-1</sup>), com três repetições, no delineamento em blocos casualizados. O espaçamento entre fileiras foi de 80 cm e 5 sementes foram semeadas por metro linear, totalizando 180 plantas por parcela. O tamanho da parcela foi de 6,0 x 4,8 m. Consideraram-se área útil as duas fileiras centrais, eliminando-se 1 metro de cada extremidade.

O fosfato natural reativo utilizado foi o fosfato de Gafsa, com 29% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total. A dose aplicada foi calculada com base no teor disponível de P no solo e na recomendação feita por Noce (2004), para a variedade de milho BR 106. As características químicas do fosfato natural, tal como do lodo de esgoto, da palha de feijão e do composto de lodo de esgoto, são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Características químicas do fosfato natural de Gafsa, da palha de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), do lodo de esgoto e do composto de lodo de esgoto utilizados no experimento

Material	Metais pesados <sup>1</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )					
	Zn	Cu	Ni	Cd	Pb	Cr
Fosfato natural	266,0	11,0	143,0	16,7	156,5	734,2
Palha de feijão	16,0	2,5	1,0	0,0	40,0	0,0
Lodo de esgoto	162,3	90,0	105,7	1,1	162,0	788,0
Composto de lodo de esgoto	304,3	81,7	97,0	1,2	168,0	800,0

<sup>1</sup> Metodologias de Tedesco et al. (1995)

As doses de composto de lodo de esgoto foram baseadas na concentração de N neste adubo e na recomendação da adubação, também feita por Noce (2004), para a variedade de milho BR 106 (80 kg ha<sup>-1</sup> de N).

O lodo de esgoto desidratado foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto - ETE no município de Juramento, MG, distante cerca de 40 km do local da pesquisa. A ETE é operada pela COPASA-MG e possui capacidade para tratar 217 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> de esgoto. A linha de tratamento é composta por tratamento preliminar e reator anaeróbio UASB interligado em série a uma lagoa de pós-tratamento do tipo facultativa. O lodo gerado no reator UASB é desidratado em um leito de secagem e, posteriormente, disposto em um aterro controlado, implantado na área da estação.

Fez-se a compostagem misturando-se o lodo de esgoto à palha de feijão de forma a se obter uma relação C/N de 30/1. A compostagem foi desenvolvida por meio de pilhas com altura de aproximadamente 1,5 m. Diariamente foram monitoradas a temperatura e a umidade do material. Para controle dos fatores intervenientes no processo, efetuou-se o revolvimento manual sistemático das pilhas, utilizando-se pás e enxadas.

A adubação foi feita de uma única vez em sulcos de plantio utilizando-se somente o fosfato natural e o composto de lodo de esgoto, conforme os tratamentos.

Após a colheita foram coletadas entre plantas, nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-30; 30-40 e 40-50 cm, 30 subamostras por parcela para formarem uma amostra composta para análises de Zn, Cu, Ni, Cd, Pb e Cr, conforme metodologias preconizadas por Tedesco et al. (1995).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias referentes às doses de fosfato testadas pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade e as relativas às doses de composto de lodo de esgoto ajustadas a modelos de regressão, testando-se os coeficientes até 10% de probabilidade, pelo teste t.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou que não houve interação entre as doses de fosfato natural e de composto de lodo de esgoto, em relação aos teores de metais pesados no solo ( $p > 0,05$ ).

Os teores de Cd, Ni e Cr no solo foram muito baixos, sem nenhum efeito dos tratamentos. Os teores médios obtidos para Cd em cada profundidade foram: 0,10 mg dm<sup>-3</sup> (0-10 cm), 0,07 mg dm<sup>-3</sup> (10-20 cm), 0,06 mg dm<sup>-3</sup> (20-30 cm), 0,06 mg dm<sup>-3</sup> (30-40 cm) e 0,05 mg dm<sup>-3</sup> (40-50 cm). Para Ni, os teores médios foram: 4,66 mg dm<sup>-3</sup> (0-10 cm), 3,20 mg dm<sup>-3</sup> (10-20 cm), 2,22 mg dm<sup>-3</sup> (20-30 cm), 1,30 mg dm<sup>-3</sup> (30-40 cm) e 1,90 mg dm<sup>-3</sup> (40-50 cm). O Cr, por outro lado, não foi detectado no solo sendo que os valores observados para o Cd e o Ni ficaram abaixo dos limites máximos no solo, estabelecidos pela USEPA (1999), que são de 39 e 420 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente.

De acordo com a Tabela 3, não houve efeito das doses de fosfato natural sobre os teores de metais pesados no solo. Verificou-se, também, que todos os metais pesados diminuíram com a profundidade do solo, exceto o chumbo. Resultados

semelhantes em arroz foram constatados por Camargo et al. (2000), ao observarem que a aplicação de adubos fosfatados nesta cultura não promoveu aumento do teor de metais pesados no solo. Por outro lado, Freitas et al. (2009) constataram aumentos lineares nos teores de Cd e Pb no solo, até doses de 800 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e Campos et al. (2005) notaram que adubos fosfatados são fontes de metais pesados para os solos.

Na Tabela 4 observa-se que os teores de Zn e Cu no solo aumentaram com o incremento das doses de composto de lodo de esgoto, atingindo os maiores valores com a adição de 75 Mg ha<sup>-1</sup> deste resíduo, exceto para a profundidade de 40-50 cm. Os maiores teores de Zn e Cu atingidos foram de 20,22 e 1,54 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente, na profundidade de 0-10 cm, porém esses valores ficaram ainda muito abaixo dos limites estabelecidos pela USEPA (1999).

Diversos autores relatam o aumento dos teores de Zn, Cu, Pb e Ni no solo com a aplicação de lodo de esgoto (Galdos et al., 2004; Rangel et al., 2004; Silva et al., 2006; Marques et al., 2007). Entretanto, Rangel et al. (2004) e Nascimento et al. (2004) verificaram que os teores de Zn e Cu adicionados ao solo via aplicação de lodo de esgoto de estação de tratamento deste resíduo, não extrapolaram os valores estabelecidos pelas normas para sua utilização agrícola.

Com base na Tabela 4 observa-se que o Pb não foi influenciado pelas doses de composto de lodo de esgoto na profundidade de 0-10 cm; apesar disto, na profundidade de 10-20 cm houve aumento dos teores deste elemento com o incremento das doses de composto de lodo de esgoto, atingindo valor máximo com a dose de 75 Mg ha<sup>-1</sup>; para as demais profundidades ocorreu aumento dos teores de chumbo com a adição de composto de lodo de esgoto mas os teores máximos foram atingidos com doses que variaram de 19,80 a 39,14 Mg ha<sup>-1</sup>. O maior teor de Pb verificado no solo foi de 16,78 mg dm<sup>-3</sup>, também abaixo do valor crítico estabelecido pela USEPA (1999).

Resultados semelhantes foram encontrados por Nascimento et al. (2004), os quais constataram teores de Pb abaixo do limite máximo permitido para utilização agrícola com a aplicação de até 60 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto em milho e feijoeiro. Corroborando com Oliveira et al. (2005) e Marques et al. (2007) que, embora tenham verificado incrementos nos teores de Pb no solo com aumento das doses de lodo de esgoto, esses valores não ultrapassaram os limites máximos estabelecidos pela USEPA (1999).

Por sua vez, resultados contrários foram encontrados por Prates (2010) que, trabalhando com lodo de esgoto na adubação do pinhão-mansão, obteve uma redução de 0,62 mg dm<sup>-3</sup> para 0,19 mg dm<sup>-3</sup> nos teores de Pb na profundidade de 20-40 cm com a aplicação de 11 Mg ha<sup>-1</sup>. Confirmando esses resultados, Chiba et al. (2008b) não perceberam, após dois anos de experimentação em campo, efeito significativo da aplicação de 30 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto nos teores de cádmio, chumbo, cromo e níquel no solo.

Não foram detectados teores de Cd e Pb na folha de milho porém, conforme observado na Tabela 5, dentre os metais estudados somente o Ni apresentou ligeiro decréscimo com a aplicação do fosfato natural no solo. Ao contrário do observado, Freitas et al. (2009) constataram que a aplicação

**Tabela 3.** Teores de metais pesados no solo em resposta à adubação com fosfato natural e composto de lodo de esgoto\*

Metal pesado (mg dm <sup>-3</sup> )	Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de composto de lodo de esgoto (Mg ha <sup>-1</sup> )				Média
		0	25	50	75	
Zn (0 – 10 cm)	0	1,90	11,63	19,93	17,40	12,72a
	90	2,00	11,17	17,53	22,63	13,33a
	Média	1,95	11,40	18,73	20,02	-
Zn (10– 20 cm)	0	0,73	3,07	3,37	6,47	3,41a
	90	1,80	3,23	3,87	6,40	3,83a
	Média	1,27	3,15	3,62	6,44	-
Zn (20 – 30 cm)	0	0,80	1,80	1,40	1,60	1,40a
	90	0,70	0,80	1,50	2,10	1,28a
	Média	0,75	1,30	1,45	1,85	-
Zn (30 – 40 cm)	0	0,50	0,93	0,90	0,97	0,83a
	90	0,80	0,47	1,47	1,07	0,95a
	Média	0,65	0,70	1,19	1,02	-
Zn (40 – 50 cm)	0	0,43	0,77	0,80	0,93	0,73a
	90	0,50	1,20	1,13	0,83	0,92a
	Média	0,47	0,99	0,97	0,88	-
Cu (0 – 10 cm)	0	0,73	1,27	2,30	2,50	1,70a
	90	0,67	1,53	1,83	2,73	1,69a
	Média	0,70	1,40	2,07	2,62	-
Cu (10– 20 cm)	0	0,60	0,80	1,00	1,50	0,98a
	90	0,70	1,10	1,20	1,50	1,13a
	Média	0,65	0,95	1,10	1,50	-
Cu (20 – 30 cm)	0	0,47	0,63	0,67	0,80	0,64a
	90	0,57	0,63	0,80	0,97	0,74a
	Média	0,52	0,63	0,74	0,89	-
Cu (30 – 40 cm)	0	0,40	0,43	0,43	0,50	0,44a
	90	0,60	0,47	0,67	0,73	0,62b
	Média	0,50	0,45	0,55	0,62	-
Cu (40 – 50 cm)	0	0,40	0,40	0,43	0,47	0,43a
	90	0,43	0,63	0,47	0,53	0,52a
	Média	0,42	0,52	0,45	0,50	-
Pb (0 – 10 cm)	0	9,50	12,80	7,47	8,80	9,64a
	90	10,03	8,53	7,73	11,47	9,44a
	Média	9,77	10,67	7,60	10,14	-
Pb (10– 20 cm)	0	13,77	11,20	11,67	12,43	12,27a
	90	14,40	10,83	14,03	21,60	15,22a
	Média	14,09	11,02	12,85	17,02	-
Pb (20 – 30 cm)	0	14,40	13,70	14,40	13,07	13,89a
	90	11,20	14,30	14,67	14,67	13,71a
	Média	12,80	14,00	14,54	13,87	-
Pb (30 – 40 cm)	0	12,07	12,53	11,20	11,73	11,88a
	90	12,80	13,70	13,33	10,77	12,65a
	Média	12,44	13,12	12,27	11,25	-
Pb (40 – 50 cm)	0	10,70	10,00	11,10	12,20	11,00a
	90	13,30	10,00	10,80	11,20	11,33a
	Média	12,00	10,00	10,95	11,70	-

\* Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

de fosfato natural de Gafsa aumentou os teores Cd e Pb em plantas de milho, e Campos et al. (2005), determinando metais pesados em fosfatos de rocha, concluíram que esses fertilizantes são fontes que aumentam os teores de metais pesados no solo.

De acordo com a Tabela 6, os teores de Cu e Ni na planta não foram influenciados pelas doses de composto de lodo de esgoto aplicadas ao solo, apresentando valores inferiores aos considerados suficientes para suprir a demanda nutricional da cultura, apesar de não terem sido observados sintomas de deficiência desses elementos na planta. Martins et al. (2003)

observaram baixa relação entre a aplicação de lodo de esgoto e os níveis de Cu em folhas de milho, apesar dos níveis desse metal terem sido considerados elevados no resíduo. Segundo Abreu et al. (2007), o Cu forma complexo estável com a matéria orgânica fazendo com que somente pequena fração deste elemento fique disponível à cultura.

Por outro lado, o teor de Zn na folha aumentou significativamente com o aumento das doses de lodo (Tabela 6). A equação ajustada demonstra que o nível deste elemento na folha com a aplicação de 75 t ha<sup>-1</sup> de composto de lodo de esgoto, corresponde a 32,38 mg kg<sup>-1</sup>, encontrando-se dentro

**Tabela 4.** Equações de regressão relacionando os teores de metais pesados no solo com as doses de composto de lodo de esgoto aplicadas

Metal	Equação	R <sup>2</sup>	DL <sup>#</sup> (Mg ha <sup>-1</sup> )	TMS <sup>#</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	Limite <sup>1</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )
Zn (0 - 10)	$Y = 1,75 + 0,49096^{***}X - 0,003264^{*}X^2$	0,99	75,00	20,22	
Zn (10 - 20)	$Y = 1,22 + 0,06392^{***}X$	0,93	75,00	6,02	
Zn (20 - 30)	$Y = 0,82 + 0,0138^{**}X$	0,95	75,00	1,86	2.800
Zn (30 - 40)	$Y = 0,65 + 0,0064^{*}X$	0,63	75,00	1,13	
Zn (40 - 50)	$Y = 0,47 + 0,180077^{***}X^{0,5} - 0,015366^{***}X$	0,99	34,34	1,00	
Cu (0 - 10)	$Y = 0,73 + 0,02572^{***}X$	0,99	75,00	1,54	
Cu (10 - 20)	$Y = 0,65 + 0,0108^{***}X$	0,97	75,00	1,46	
Cu (20 - 30)	$Y = 0,51 + 0,00488^{***}X$	0,99	75,00	0,65	1.500
Cu (30 - 40)	$Y = (0,23 + 0,000000374^{*}X^3)^{0,5}$	0,85	75,00	0,63	
Cu (40 - 50)	$Y = Ym = 0,47$	-	-	0,47	
Pb (0 - 10)	$Y = Ym = 9,55$	-	-	9,55	
Pb (10 - 20)	$Y = (149,83 + 0,0003119^{***}X^3)^{0,5}$	0,67	75,00	16,78	
Pb (20 - 30)	$Y = (162,96 + 1,93993^{***}X - 0,024778^{***}X^2)^{0,5}$	0,98	39,14	14,18	300
Pb (30 - 40)	$Y = (156,58 + 0,816517^{***}X - 0,016548X^2)^{0,5}$	0,94	24,67	12,91	
Pb (40 - 50)	$Y = 11,98 + 0,095706^{*}X - 0,851154^{*}X^{0,5}$	0,97	19,80	10,09	

<sup>#</sup> DL - Dose de composto de lodo de esgoto para atingir maior concentração de metal pesado no solo; TMS - Teor máximo de metal pesado no solo

Ym - Valor médio

<sup>1</sup> Concentração máxima a ser atingida no solo pela aplicação do resíduo (USEPA, 1999)

°, \*, \*\*, \*\*\* - significativos a 10%; 5%; 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente

**Tabela 5.** Teores de Zn, Cu, Ni, Cd e Pb em folha de milho fertilizada com composto de lodo de esgoto e fosfato natural\*

Metal pesado (mg kg <sup>-1</sup> )	Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de composto de lodo de esgoto (Mg ha <sup>-1</sup> )				Média
		0	25	50	75	
Zn	0	20,33	20,67	23,33	35,00	24,83 A
	1	19,67	20,67	24,00	32,00	24,08 A
	Média	20,00	20,67	23,67	33,50	
Cu	0	6,33	4,33	4,00	3,67	4,58 A
	1	4,33	4,00	4,00	6,33	4,67 A
	Média	5,33	4,17	4,00	5,00	
Ni	0	7,45	6,88	6,31	6,31	6,74 A
	1	5,45	4,30	4,30	7,17	5,30 B
	Média	6,45	5,59	5,30	6,74	
Pb	0	42,75	31,35	29,00	21,85	31,24 A
	1	23,75	30,40	26,60	24,70	26,36 A
	Média	33,25	30,88	27,80	23,28	

\* Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

**Tabela 6.** Equações de regressão relacionando os teores de metais pesados na folha de milho adubado com composto de lodo de esgoto

Metal (mg kg <sup>-1</sup> )	Equação	R <sup>2</sup>	DL <sup>#</sup> (Mg ha <sup>-1</sup> )	TMP <sup>#</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	Adequado (mg kg <sup>-1</sup> )
Zn	$Y = 17,53 + 0,19798^{***}X$	0,7863	75,00	32,38	15 - 100 <sup>**</sup>
Cu	$Y = Ym = 4,62$	-	-	4,62	6,0 - 20 <sup>**</sup>
Ni	$Y = Ym = 6,02$	-	-	6,02	25 - 300 <sup>***</sup>
Pb	$Y = (1068,70 - 0,11834169^{***}X^2)^{0,5}$	0,9921	0	32,69	-

<sup>#</sup> DL - Dose de composto de lodo de esgoto para atingir maior concentração de nutriente na planta; TMP - Teor máximo de metal na planta

\*\* Faixa de suficiência de nutrientes na planta, de acordo Oliveira (2004)

\*\*\* Faixa de suficiência de nutrientes na planta, de acordo Reuter (1986)

do intervalo de 15 a 100 mg kg<sup>-1</sup>, considerado adequado para a cultura, segundo Oliveira (2004). Resultados semelhantes foram constatados por Galdos et al. (2004), na cultura do milho, em Latossolo Vermelho Eutroférico, tratado com dose de lodo de esgoto de até 21,6 Mg ha<sup>-1</sup>. Outros autores também constataram relação positiva entre a aplicação de lodo de esgoto e aumento nos teores de Zn absorvido pelas culturas (Martins et al., 2003; Gomes et al., 2007). Anjos & Mattiazzi (2000) avaliaram a

fitodisponibilidade de metais pesados em diferentes solos sistematicamente tratados com biossólido e constataram que os teores de Zn nas folhas de plantas de milho foram sempre maiores nos tratamentos com adição do resíduo. Embora não verificado neste trabalho, Gomes et al. (2006) constataram que o aumento na absorção de Zn pela planta de milho provocou diminuição dos teores de Cu em plantas adubadas com lodo de esgoto.

No caso do Pb (Tabela 6), observa-se que o aumento da dose de lodo de esgoto reduziu os teores deste elemento na planta, possivelmente associado à complexação do metal pela matéria orgânica do lodo. Prates (2010) constatou redução deste elemento no solo com a adição de lodo de esgoto, não sendo verificada sua presença em plantas de pinhão-manso. A redução da disponibilidade de Pb em solo e em plantas de mostarda pela adição de material orgânico, também foi constatada por Santos et al. (2007).

De acordo com Nogueira et al. (2008), a adubação sucessiva com lodo de esgoto na cultura do milho promove acúmulo nos teores de Cr, Pb e Zn na planta. Rangel et al. (2006) também afirmam que a aplicação sucessiva de lodo de esgoto ao solo proporciona aumento nos teores de Ni, Pb e Zn; entretanto, eles ainda permanecem abaixo dos níveis de toxicidade para a cultura do milho.

### CONCLUSÕES

1. Em geral, o fosfato natural não influencia os teores de metais pesados no solo.
2. Os teores de Cu, Zn e Pb no solo aumentam com a aplicação de doses de composto de lodo de esgoto.
3. Aplicações de doses de composto de lodo de esgoto de até 75 Mg ha<sup>-1</sup>, em solo não adubado com este resíduo, não aumentam os teores de Cu, Zn, Pb, Cd, Ni e Cr acima dos limites críticos estabelecidos pela legislação.
4. Os teores de Cu, Zn, Pb, Cd e Cr na planta não foram influenciados pela aplicação de fosfato natural.
5. O teor de Zn na planta aumenta e o de Pb reduz com a aplicação de doses de composto de lodo de esgoto.

### AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus maiores agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo apoio financeiro, que possibilitou a realização deste trabalho.

### LITERATURA CITADA

- Abreu C. A.; Lopes, A. S.; Santos, G. Micronutrientes. In: Novais, R. F.; Alvarez, V. V. H.; Barros, N. F. de; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (Org.). Fertilidade do Solo. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.I, p.645-736, 2007.
- Andrade, C. A.; Mattiazzi, M. E. Nitratos e metais pesados no solo após a aplicação de biofósforo (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. *Scientia Florestalis*, v.58, p.59-72, 2000.
- Anjos, A. R. M. dos; Mattiazzi, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com biofósforo. *Scientia Agricola*, v.57, p.769-776, 2000.
- Barbosa, G. M. de C.; Tavares Filho, J.; Brito, O. B.; Fonseca, I. C. B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v.31, p.601-605, 2007.
- Bettiol, W.; Camargo, O. A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.
- Biondi, C. M.; Nascimento, C. W. A. do. Acúmulo de nitrogênio e produção de matéria seca de plantas em solos tratados com lodo de esgoto. *Revista Caatinga*, v.18, p.123-128, 2005.
- Camargo, M. S. de; Anjos, A. R. M. dos; Rossi, C.; Malavolta, E. Adubação fosfatada e metais pesados em Latossolo cultivado com arroz. *Scientia Agricola*, v.57, p.513-518, 2000.
- Campos, M. L.; Silva, F. N.; Furtini Neto, A. E.; Guilherme, L. R. G.; Marques, J. J.; Antunes, A. S. Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.361-367, 2005.
- Chiba, M. K.; Mattiazzi, M. E.; Oliveira, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. I – Disponibilidade de nitrogênio no solo e componentes de produção. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v.32, p.643-652, 2008a.
- Chiba, M. K.; Mattiazzi, M. E.; Oliveira, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto: II - Fertilidade do solo e nutrição da planta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.653-662, 2008b.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, CNPS, 1997. 212p.
- Freitas, E. V. S.; Nascimento, C. W. A.; Goulart, D. F.; Silva, J. P. S. Disponibilidade de cádmio e chumbo para milho em solo adubado com fertilizantes fosfatados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1899-1907, 2009.
- Galdos, M. V.; Maria, I. C. de.; Camargo, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v.28, p.569-577, 2004.
- Gomes, S. B. V.; Nascimento, C. W. A.; Biondi, C. M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.459-465, 2007.
- Gomes, S. B. V.; Nascimento, C. W. A. do.; Biondi, C. M.; Accioly, A. M. de A. Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em Argissolo tratado com lodo de esgoto. *Revista Ciência Rural*, v.36, p.1689-1695, 2006.
- Lemainski, J.; Silva, J. E. da. Utilização do biofósforo da CAESB na produção de milho no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v.30, p.741-750, 2006a.
- Lemainski, J.; Silva, J. E. da. Avaliação agrônômica e econômica da aplicação de biofósforo na produção de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.1477-1484, 2006b.
- Marques, M. O.; Melo, W. J. de; Marques, T. A. Metais pesados e o uso de biofósforo na agricultura. In: *Biofósforos na agricultura*. 2. ed., São Paulo: ABES/SP, 2002, p.365-403.
- Marques, M. O.; Nogueira, T. A. R.; Fonseca, I. M.; Marques, T. A. Teores de Cr, Ni, Pb e Zn em Argissolo Vermelho tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.7, p.133-143, 2007.

- Martins, A. L. C.; Bataglia, O. C.; Camargo, O. A.; Cantarella, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v.27, p.563-574, 2003.
- Melfi, A. J.; Montes, C. R. Impacto dos biossólidos sobre o solo. In: *Biossólidos na agricultura*. 2. ed., São Paulo: ABES/SP, 2002, p.243-272.
- Melo, W. J. de; Marques, M. O.; Melo, V. P. de. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: *Biossólidos na agricultura*. 2. ed., São Paulo: ABES/SP, 2002, p.289-363.
- Nascimento, C. W. A.; Barros, D. A. S.; Melo, E. E. C.; Oliveira, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v.28, p.385-392, 2004.
- Noce, M. A. Milho variedade BR 106: Técnicas de plantio. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004, 5p. Comunicado Técnico, 109
- Nogueira, T. A. R.; Oliveira, L. R.; Melo, W. J. de.; Fonseca, I. M.; Melo, G. M. P. de; Melo, V. P. de; Marques, M. O. Cádmio, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em Latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v.32, p.2195-2207, 2008.
- Nogueira, T. A. R.; Sampaio, R. A.; Ferreira, C. S.; Fonseca, I. M. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.6, p.122-131, 2006.
- Nogueira, T. A. R.; Sampaio, R. A.; Fonseca, I. M.; Ferreira, C. S.; Santos, S. E.; Ferreira, L. C.; Gomes, E.; Fernandes, L. A. Metais pesados e patógenos em milho e feijão caupi consorciados, adubados com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.11, p.331-338, 2007.
- Oliveira, J. P. B. de; Lopes, J. C.; Alexandre, R. S.; Jasper, A. P. dos S.; Santos, L. N. da S.; Oliveira, L. B. de. Concentração de metais pesados em plantas de maracujá doce cultivadas em dois solos tratados com lodo de esgoto. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v.6, p. 217-223, 2009.
- Oliveira, K. W.; Melo, W. J.; Pereira, G. T.; Melo, V. P.; Melo, G. P. Heavy metals in oxisols amended with biosolids and cropped with maize in a long-term experiment. *Scientia Agrícola*, v.62, p.381-388, 2005.
- Oliveira, S. A. Análise foliar. In: Sousa, D. M. G.; Lobato, E. Cerrado: Correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2004. p.245-256.
- Prates, F. B. S. Crescimento, desenvolvimento e nutrição de pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. Montes Claros: ICA-UFGM, 2010. 94p. Dissertação Mestrado
- Rangel, O. J. P.; Silva, C. A.; Bettiol, W.; Dynia, J. F. Efeito de aplicações de lodos de esgoto sobre os teores de metais pesados em folhas e grãos de milho. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v.30, p.583-594, 2006.
- Rangel, O. J. P.; Silva, C. A.; Bettiol, W.; Guilherme, L. R. G.; Dynia, J. F. Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolo Vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. *Ciência Agrotécnica*, v.28, p.15-23, 2004.
- Reuter, D. J. Temperate and sub-tropical crops. In: Reuter, D. J.; Robinson, J. B. *Plant analysis: An interpretation manual*. Melbourne, Inkata, 1986. p.38-99.
- Silva, C. A.; Rangel, O. J. P.; Dynia, J. F.; Bettiol, W.; Manzatto, C. V. Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em Latossolo sucessivamente tratado com lodos de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v.30, p.353-364, 2006.
- Silva, C. J. C. da; Lima, M. G. de S.; Carvalho, C. M. de.; Eloi, W. M.; Pedroza, M. M.; Silva, C. J. C. da. Efeito do lodo de estação de tratamento de despejos de curtumena fase inicial do crescimento do milho. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.5, 2005.
- Silva, J. E.; Resck, D. V. S.; Sharma, R. D. Alternativa agrônômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. I. Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.487-495, 2002.
- Simonete, M. A.; Kiehl, J. C.; Andrade, C. A.; Teixeira, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, p.1187-195, 2003.
- 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. 174p. 1995. Boletim Técnico, 5
- Trannin, I. C. de B.; Siqueira, J. O.; Moreira, F. M. de S. Avaliação agrônômica de um biossólido industrial para a cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.261-269, 2005.
- Tsutiya, M. T.; Comparini, J. B.; Alem Sobrinho, P.; Hespanhol, I.; Carvalho, P. C. T.; Melfi, A. J.; Melo, W. J.; Marques, M. O. Biossólidos na agricultura. São Paulo: ABES. 2002, 468p.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. Title 40 CFR: part 503: Final rules standards for the use for disposal of sewage sludge. Washington: USEPA, 1999.
- Vieira, R. F.; Tanaka, R. T.; Tsai, S. M.; Pérez, D. V.; Silva, C. M. M. de S. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.919-926, 2005.