

## Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em Argissolo tratado com lodo de esgoto

### Distribution of heavy metals in corn plants grown on a sludge-treated Utisol

Samuel Belo Venâncio Gomes<sup>1</sup> Clístenes Williams Araújo do Nascimento<sup>2</sup>  
Caroline Miranda Biondi<sup>3</sup> Adriana Maria de Aguiar Accioly<sup>4</sup>

#### RESUMO

Apesar da reciclagem agrícola de lodo de esgoto ser uma das formas mais viáveis de disposição final deste resíduo, plantas cultivadas em áreas que receberam aplicações de lodo podem apresentar risco de contaminação por metais pesados. O objetivo deste trabalho foi estudar a distribuição dos metais Cd, Cu, Zn, Mn e Fe em plantas de milho cultivadas em solo adubado com lodo de esgoto da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA. Com esta finalidade, seis doses do resíduo (0; 7,7; 15,4; 29,7; 45,1 e 60,5t ha<sup>-1</sup>) foram aplicadas a um Argissolo Amarelo em condições de campo. Os teores dos metais foram determinados em cinco partes das plantas de milho: colmo, folha, pendão, palha que envolve a espiga e grãos. Os resultados demonstraram que a absorção de Zn pelas plantas de milho aumentou com a adição de lodo de esgoto, sendo o elemento acumulado principalmente na palha que envolve a espiga e na folha. Este aumento de absorção de Zn provocou diminuição dos teores de Cu nas plantas tratadas com lodo. A adição de lodo proporcionou aumentos na concentração de Fe em todas as partes da planta, com exceção dos grãos. O Mn foi acumulado, principalmente, no pendão e no colmo das plantas de milho. A aplicação de lodo de esgoto em solo cultivado com milho não proporcionou fitotoxicidade ou contaminação dos grãos produzidos por nenhum dos metais estudados.

**Palavras-chave:** poluição do solo; reciclagem; micronutrientes.

#### ABSTRAC

Despite of sewage sludge agricultural recycling is one of the most adequate forms for sludge final disposal, plants grown in sludge-amended areas are under the risk of heavy

metal contamination. This study was aimed at studying the distribution of Cd, Cu, Zn, Mn, and Fe in corn plants grown on soil treated with the sewage sludge from Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), Pernambuco state, Brazil. The sludge was applied to an Ultisol at six doses (0, 7.7, 15.4, 29.7, 45.1, and 60.5t ha<sup>-1</sup>). Heavy metal concentrations were determined in various plant parts (stem, leaves, stalk, straw involving the cob, and grains). The results showed that addition of sludge increased the Zn uptake by plants, with Zn accumulating mainly in the straw involving the cob and leaves. This increase in Zn absorption decreased Cu concentration in plants grown in sludge-treated soils. Except for grains, Fe concentrations were increased in all the plant parts due to sludge addition. On the other hand, most Mn was mainly accumulated in stalk and stem of the corn plants. Sewage sludge application on soil cultivated with corn did provoke neither phytotoxicity nor grains contamination with the heavy metals studied.

**Key words:** soil pollution; recycling; micronutrients.

#### INTRODUÇÃO

Embora a utilização agrícola de lodo de esgoto se apresente como uma das alternativas mais viáveis para a disposição final deste resíduo, a presença de metais pesados no lodo pode limitar sua utilização como fertilizante, seja em virtude do risco de contaminação da cadeia trófica via absorção e translocação desses elementos em plantas cultivadas nessas áreas, seja devido à possibilidade de percolação de metais para águas subterrâneas.

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), 52172-900, Recife, PE, Brasil. E-mail: sbygomes@hotmail.com. Autor para correspondência.

<sup>2</sup>Departamento de Agronomia, UFRPE, Recife, PE, Brasil. E-mail: cwanascimento@yahoo.com.

<sup>3</sup>UFRPE, Recife, PE, Brasil. E-mail: agrocarol@yahoo.com.br.

<sup>4</sup>Pesquisadora EMBRAPA, 44380000, Cruz das Almas, BA, Brasil. E-mail: adriaccioly@hotmail.com.

A concentração de metais pesados no lodo depende do tipo de efluente que chega à estação de tratamento de esgoto. Efluentes de origem industrial podem gerar lodos com alta concentração de metais pesados, cujo uso agrícola iria se constituir em risco real de contaminação da cadeia trófica. Quando o efluente é originado essencialmente de rejeitos domésticos, como no caso do lodo da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) utilizado neste trabalho, as quantidades de metais pesados tóxicos fornecidas ao solo e absorvidas pelas plantas são geralmente baixas (NASCIMENTO et al., 2004; ARAÚJO & NASCIMENTO, 2005). No entanto, mesmo para essa condição, a absorção de metais por plantas cultivadas em solos adubados com lodo deve ser monitorada visando à aplicação ambientalmente segura do resíduo, visto que o efeito de biomagnificação da concentração de metais na parte aérea das plantas pode ser uma via de contaminação da cadeia trófica. Por exemplo, WINDER et al. (1999) estudaram a transferência de Zn, adicionado ao solo via lodo, por três níveis tróficos da cadeia alimentar e verificaram que a concentração de Zn no terceiro nível da cadeia (besouros) foi aproximadamente oito vezes maior que no primeiro nível (plantas).

Aplicações sucessivas de lodo de esgoto podem contribuir para o aumento dos teores disponíveis de metais no solo e, conseqüentemente, dos teores absorvidos pelas plantas. Os dados de BERTI & JACOBS (1996) demonstram que as concentrações de Zn e Ni em plantas de milho, sorgo e soja sucessivamente adubadas com lodo de esgoto encontravam-se em níveis fitotóxicos para essas culturas. Entretanto, a maioria dos trabalhos com lodo doméstico apresenta resultados contrários a esse. BERTON et al. (1997), por exemplo, após aplicação de 393kg ha<sup>-1</sup> de Zn via lodo em dois Latossolos cultivados com milho, verificaram concentrações acima de 320mg kg<sup>-1</sup> de Zn na parte aérea das plantas, não sendo verificados distúrbios no desenvolvimento das mesmas em decorrência do aumento da concentração deste metal. ANJOS & MATTIAZZO (2000) constataram que, mesmo após sucessivas aplicações de lodo, que totalizaram 388t ha<sup>-1</sup> em base seca, os teores de Cr, Cu, Ni e Zn no solo estavam dentro do limite aceitável, segundo critérios estabelecidos pela *Environmental Protection Agency* (EPA) (UNITED STATES, 1993). ARAÚJO & NASCIMENTO (2005) não encontraram fitotoxicidade de Zn, ou de nenhum outro metal, mesmo em plantas de milho adubadas com dose de lodo de esgoto equivalente a 1,5 vez a dose máxima permitida de Zn em solos, via aplicação de lodo, preconizada pela legislação americana (UNITED STATES, 1993).

Além do coeficiente de transferência do metal do solo para a planta, a distribuição do metal nas diversas partes vegetais é essencial para a avaliação do risco de contaminação da cadeia alimentar. JARAUSCH-WEHRHEIM et al. (1999) observaram reduções na matéria seca de plantas de milho cultivadas em área tratada por 19 anos com lodo e atribuíram este decréscimo ao aumento da concentração de Zn na matéria seca das plantas. No entanto, o metal se concentrou principalmente nas folhas, sendo os teores encontrados no grão abaixo de 50mg kg<sup>-1</sup>. Teores baixos de Zn em grãos de milho adubado com lodo de esgoto foram também observados por ANJOS & MATTIAZZO (2000).

Ao contrário de alguns Estados do Brasil, o uso de lodo de esgoto na agricultura, bem como resultados de pesquisas que validem sua utilização agrícola economicamente eficiente e ambientalmente segura, em Pernambuco e no Nordeste, ainda são incipientes. O presente trabalho objetivou avaliar a absorção e o acúmulo dos metais pesados Cd, Cu, Zn, Mn e Fe em diferentes partes de plantas de milho cultivadas em Argissolo adubado com lodo da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina - EECAC - pertencente à Universidade Federal Rural de Pernambuco, no período de abril a junho de 2003, no município de Carpina. Utilizou-se lodo anaeróbio coletado de quatro leitos de secagem da ETE-Mangueira da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA, em março de 2003. Amostras homogêneas do lodo foram retiradas e, após medição do volume, foram pesadas e colocadas para secar em estufa, por aproximadamente 72 horas, a 65°C. Depois de secas, as amostras foram pesadas para determinação da umidade, sendo em seguida destorroadas e trituradas em almofariz. Estas amostras foram submetidas à digestão sulfúrica e nitro-perclórica para caracterização química (Tabela 1).

O experimento foi constituído por tratamento testemunha e cinco doses de lodo, totalizando seis tratamentos com quatro repetições, em delineamento experimental de blocos ao acaso. As doses de lodo foram 0; 7,7; 15,4; 29,7; 45,1 e 60,5t ha<sup>-1</sup> (em base seca), calculadas com base na caracterização química, na densidade e no conteúdo de água do resíduo, de forma a fornecer 0, 1, 2, 4, 6 e 8 vezes a quantidade de nitrogênio requerida pela cultura, segundo a

Tabela 1 - Características químicas e físicas da amostra de lodo de esgoto da COMPESA.

Característica	Valor
pH (água 1:2,5) <sup>1</sup>	5,7
C.O. (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	285,9
M.O. (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	492,9
Relação C/N	11,6
N-total (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	24,6
P (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	4,77
K (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	2,03
Na (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	1
Ca (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	22,26
Mg (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	2,24
Fe (mg kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	15.820
Cu (mg kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	59,5
Zn (mg kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	937,1
Mn (mg kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	215,1
Pb (mg kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	152,1
Cd (mg kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	1,5
Conteúdo de água (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	560
Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	0,5

<sup>1</sup>EMBRAPA (1999); <sup>2</sup> KIEHL(1985).

COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO DE PERNAMBUCO (1998), considerando que apenas 50% do nitrogênio do lodo estaria disponível para o primeiro ano de cultivo, como recomendado por FERNANDES & ANDREOLI (1997). Vale ressaltar que estas doses adicionaram ao solo teores de metais pesados inferiores aos permitidos para solos agrícolas, segundo critérios estabelecidos pela *Environmental Protection Agency* (EPA) (UNITED STATES, 1993).

O solo da área onde foi montado o experimento, classificado como ARGISSOLO AMARELO, foi caracterizado física e quimicamente a partir de amostras coletadas na camada 0-20cm (Tabela 2). O lodo foi incorporado ao solo com enxada a uma profundidade média de 20cm e, após sete dias, as parcelas de 4 x 5m foram semeadas com a cultivar de milho "Vencedor", em espaçamento 1 x 0,2m, formando um "stand" de 100 plantas, sendo considerada como parcela útil as duas fileiras centrais da parcela.

Quando 50% das plantas atingiram o pendoamento, coletou-se o terço médio de dez folhas da base da espiga (folha diagnose) dentro da parcela útil. Depois de lavadas, as folhas foram colocadas para secar em estufa a 65°C, por 72 horas. Após este período, as amostras foram trituradas em moinho tipo Wiley e acondicionadas para posterior análise.

Passados noventa dias do semeio, dez plantas foram coletadas aleatoriamente dentro da

Tabela 2 - Características físico-químicas do solo utilizado no experimento.

Característica	Valor
pH (água 1:2,5) <sup>1</sup>	6
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	26,52
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,59
Na (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,09
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	1,72
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	3
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	2,01
C.O. (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	11,82
Fe (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	76,9
Cu (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	nd
Zn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	1,0
Mn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	4,4
Cd (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	nd
Areia (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	76,12
Silte (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	17,06
Argila (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	6,82

<sup>1</sup>EMBRAPA (1999); <sup>2</sup> De FELIPO & RIBEIRO (1997); <sup>3</sup> Extraído por DTPA (LINDSAY & NORVELL, 1978); nd- não detectado.

parcela útil, separadas em quatro partes (colmo, palha que envolve a espiga, grãos e pendão) e colocadas para secar em estufa a 65°C, por 72 horas. Depois de secas, as amostras foram trituradas em moinho de facas e acondicionadas em sacos plásticos. Amostras da folha diagnose, do colmo, da palha que envolve a espiga, do grão e do pendão, foram submetidas à digestão nítrico-perclórica para determinação dos teores de metais (EMBRAPA, 1999). Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo testado o ajuste de regressões para os teores de Cd, Cu, Zn, Mn e Fe em função das doses de lodo aplicadas para cada uma das partes das plantas de milho analisadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adição de lodo de esgoto ao solo aumentou a absorção de Zn pelas plantas de milho, sendo este elemento acumulado em maiores quantidades na palha, folha, colmo e pendão (Figura 1). O teor de Zn no grão esteve abaixo do limite de detecção pelo método analítico empregado, até a aplicação de 45,1t ha<sup>-1</sup> de lodo. Entretanto, com a aplicação de 60,5t ha<sup>-1</sup>, o teor de Zn no grão foi de 1,65mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 3). Muito embora a adição de lodo tenha aumentado a absorção de Zn, a sua concentração nas folhas é considerada nutricionalmente adequada (EMBRAPA, 1999), mesmo para a maior dose de lodo

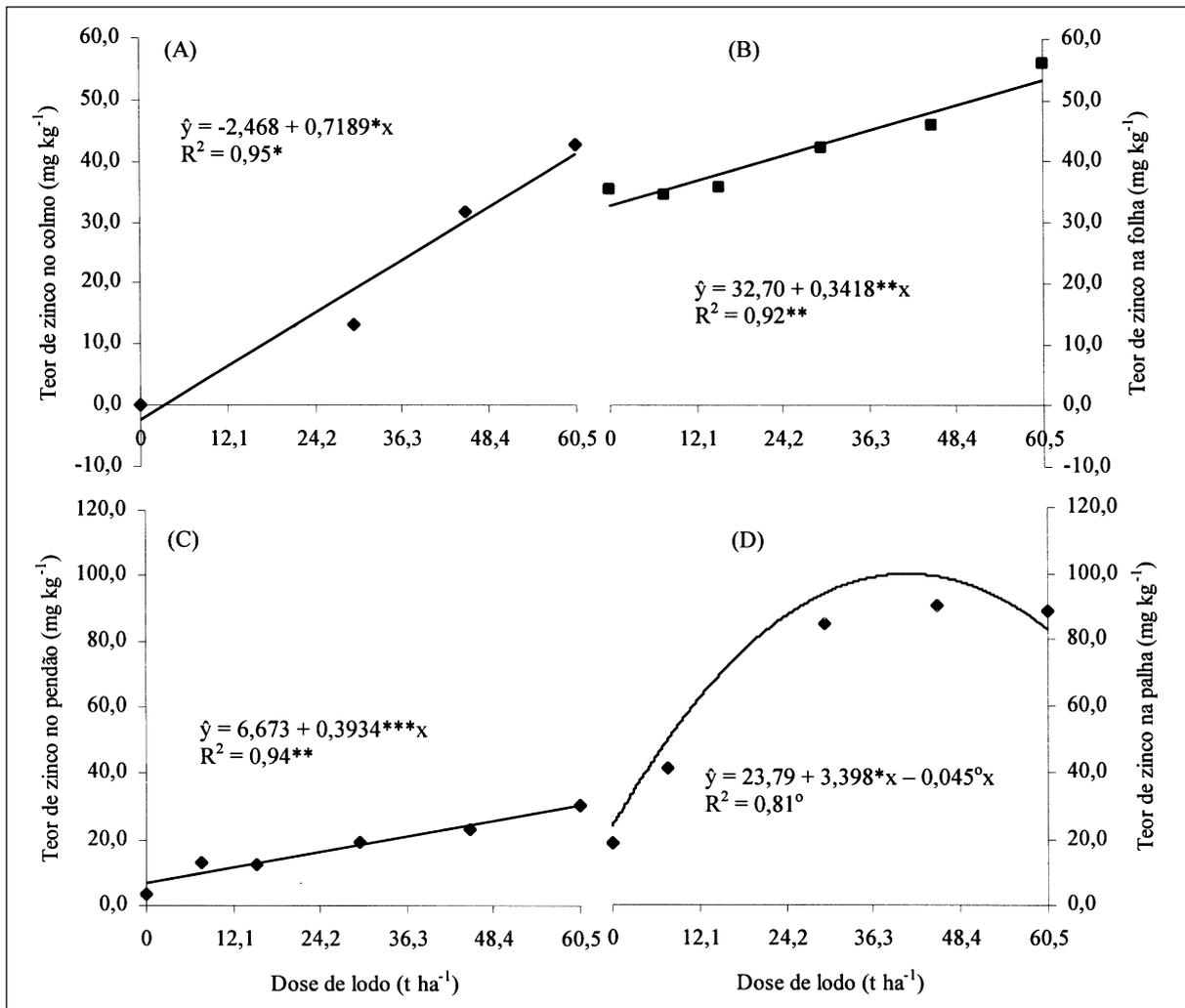


Figura 1 - Teores de zinco no colmo (A), folha (B), pendão (C) e palha (D), em função de doses de lodo de esgoto aplicadas em ARGISSOLO AMARELO; \*\*, \*, ° Significância a 1%, 5% e 10%, respectivamente, pelos testes t (parâmetros) e F (regressão).

aplicada, não apresentando risco de fitotoxicidade. Estes resultados corroboram os encontrados por ANJOS & MATTIAZZO (2000), que, depois de repetidas aplicações de lodo no solo, encontraram aumentos na concentração de Zn abaixo de níveis tóxicos na folha, no colmo, no pendão, na palha e nos grãos de milho.

Este aumento na concentração de Zn nas diversas partes das plantas de milho estudadas evidencia a maior disponibilidade deste elemento em função das doses de lodo aplicadas e do teor relativamente elevado de Zn no lodo (Tabela 1). JARAUSCH-WEHUHEIM et al. (1999), estudando a absorção e a translocação de Zn em plantas de milho cultivadas em solo tratado por consecutivos anos agrícolas com lodo de esgoto, também constataram

aumentos significativos na folha e no colmo de plantas de milho. Contudo, esses autores detectaram baixa concentração de Zn no grão, o qual não apresentava risco para o consumo humano ou animal.

Apesar das quantidades de Cu adicionadas ao solo via lodo, os teores deste elemento no colmo não se alteraram e estiveram abaixo do limite de detecção no pendão, na palha e na folha (Tabela 3). Contudo, os teores de Cu nos grãos diminuíram significativamente com o aumento das doses de lodo (Figura 2). Estes resultados estão em discordância com os encontrados por ANJOS & MATTIAZZO (2000); AL-JALOUD et al. (1995); OLIVEIRA (1995); LOGAN et al. (1997). É possível que a forte quelação do Cu pela matéria orgânica do lodo e o antagonismo na absorção de Cu devido à competição com Zn sejam responsáveis

Tabela 3 - Teores de metais em cinco diferentes partes de plantas de milho cultivadas em solo tratado com lodo de esgoto.

Dose de lodo (t ha <sup>-1</sup> )	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd
	mg kg <sup>-1</sup>				
Colmo					
0	5,78	58,82	nd	3,85	nd
7,7	20,37	41,86	nd	20,37	nd
15,4	15,70	30,54	nd	15,70	1,76
29,7	8,40	30,54	13,20	28,54	4,40
45,1	77,56	36,20	31,63	10,15	6,17
60,5	44,29	19,23	42,57	5,02	1,76
Média	16,51	36,20	12,45	14,12	2,39
CV (%)	83,5	24,0	70,5	20,4	38,0
Folha					
0	2,51	8,10	35,65	25,36	nd
7,7	21,53	7,97	34,70	31,96	nd
15,4	23,28	9,35	37,63	42,20	nd
29,7	26,79	7,12	42,36	40,46	nd
45,1	27,95	11,30	45,80	38,98	nd
60,5	20,37	17,51	59,84	33,07	nd
Média	21,48	-	42,11	-	-
CV (%)	20,5	-	8,1	-	-
Pendão					
0	25,62	nd	3,42	91,50	nd
7,7	22,92	nd	13,25	85,38	nd
15,4	28,34	nd	12,61	101,72	nd
29,7	28,90	nd	19,51	142,57	nd
45,1	66,66	nd	23,08	160,95	nd
60,5	71,16	nd	30,48	172,52	nd
Média	38,80	-	17,38	130,00	-
CV (%)	21,7	-	13,7	27,0	-
Palha que envolve a espiga					
0	nd	nd	18,71	nd	nd
7,7	nd	nd	41,03	nd	nd
15,4	nd	nd	96,30	nd	nd
29,7	nd	nd	84,61	nd	nd
45,1	1,14	nd	89,92	nd	nd
60,5	2,28	nd	88,33	nd	nd
Média	0,38	-	65,90	-	-
CV (%)	124,0	-	23,0	-	-
Grão					
0	nd	41,86	nd	nd	nd
7,7	nd	13,57	nd	nd	nd
15,4	nd	2,26	nd	nd	nd
29,7	nd	1,13	nd	nd	nd
45,1	nd	0,75	nd	nd	nd
60,5	nd	0,57	1,65	nd	nd
Média	-	7,38	0,53	-	-
CV (%)	-	32,4	106,6	-	-

nd: não detectado.

por esse resultado (MARTINS et al., 2003; BECKETT & DAVIS, 1978). Para o lodo em estudo, a relação Zn/Cu é de 16:1. Portanto, o decréscimo dos teores de Cu nos grãos provavelmente reflete sua menor absorção quando da aplicação do lodo de esgoto, como pode ser visto para os teores de Cu no colmo das plantas de milho (Tabela 3) e pelo expressivo efeito das doses de lodo sobre os teores de Cu nos grãos (Figura 2).

Os teores de Fe na folha e no pendão aumentaram em função das doses de lodo aplicadas (Figura 3). O Fe absorvido pela planta acumulou-se principalmente no pendão e na folha, não sendo detectado Fe no grão (Tabela 3). SILVA et al. (2002) também observaram aumentos no teor de Fe em folhas de plantas de milho cultivadas em solo tratado com lodo de esgoto. Vale ressaltar que, apesar da alta quantidade de Fe incorporada ao solo via lodo, o teor deste elemento permaneceu abaixo do limite considerado adequado para a cultura segundo EMBRAPA (1999). Este resultado indica a baixa disponibilidade das formas de Fe presentes no lodo de esgoto. Em concordância com essa observação, NASCIMENTO et al. (2004) observaram que apenas 4% do Fe adicionado a dois solos via lodo foi recuperado pelo extrator DTPA.

Os teores de Mn no pendão, no colmo e na folha não apresentaram ajustes significativos às doses de lodo aplicadas. Os teores deste elemento na palha e nos grãos, para todas as doses estudadas, estiveram abaixo do limite de detecção pelo método analítico empregado (Tabela 3). Para as folhas, apenas a dose de

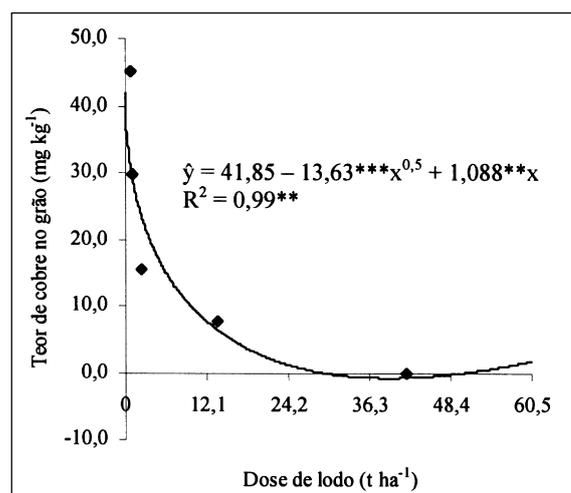


Figura 2 - Teor de cobre em grãos de milho em função de doses de lodo de esgoto aplicadas em ARGISSOLO AMARELO; \*\*\*, \*\* Significância a 0,1% e 1%, respectivamente, pelos testes t (parâmetros) e F (regressão).

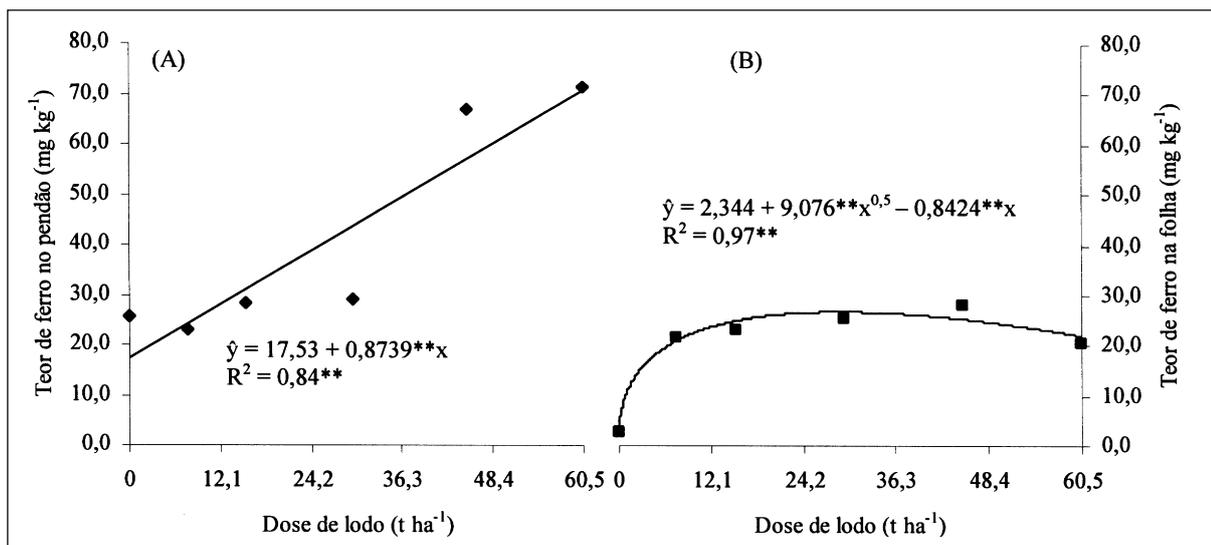


Figura 3 - Teores de ferro no pendão (A) e na folha (B), em função de doses de lodo de esgoto aplicadas em ARGISSOLO AMARELO; \*\* Significância a 1% pelos testes t (parâmetros) e F (regressão).

60,5t ha<sup>-1</sup> propiciou aumento substancial nos teores de Mn. Para esta dose, o teor de Mn nas folhas (93,54mg kg<sup>-1</sup>) foi suficiente para o adequado suprimento de Mn às plantas (EMBRAPA, 1999), sem acarretar níveis fitotóxicos. A baixa disponibilidade de Mn adicionado via lodo para plantas foi também verificada por MARTINS et al. (2003); ANJOS & MATTIAZZO (2000).

Com exceção do colmo, a partir do tratamento 15,4t ha<sup>-1</sup> de lodo, não foi detectado a presença de Cd em nenhuma das partes da planta (Tabela 3), indicando baixo risco de contaminação de plantas por Cd, com a aplicação do lodo de esgoto da COMPESA. A quantidade deste elemento adicionada ao solo via lodo na maior dose aplicada (60,5) foi de 1,88kg ha<sup>-1</sup>, teor muito abaixo do permitido em lodo destinado à utilização agrícola, segundo critérios estabelecidos pela *Environmental Protection Agency* (EPA) (UNITED STATES, 1993).

## CONCLUSÕES

A absorção de Zn pelas plantas de milho aumentou com a adição de lodo de esgoto, sendo o elemento acumulado principalmente na palha que envolve a espiga e na folha. Este aumento de absorção de Zn provocou diminuição dos teores de Cu nas plantas tratadas com lodo.

A adição de lodo proporcionou aumentos na concentração de Fe em todas as partes da planta, com exceção dos grãos. O Mn foi acumulado, principalmente, no pendão e no colmo das plantas de milho.

A aplicação de lodo de esgoto em solo cultivado com milho não proporcionou fitotoxicidade ou contaminação dos grãos produzidos por nenhum dos metais estudados.

## AGRADECIMENTOS E APRESENTAÇÃO

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa ao pesquisador Nascimento.

Parte da dissertação apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal Rural de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Agronomia/Ciência do Solo.

## REFERÊNCIAS

- AL-JALOOD, A.A. et al. Effect of wastewater irrigation on mineral composition of corn and sorghum plants in a pot experiment. *Journal of Plant Nutrition*, v.18, p.1677-1692, 1995.
- ANJOS, A.R.M. DOS; MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em LATOSSOLOS repetidamente tratados com biossólido. *Scientia Agricola*, v.57, p.769-776, 2000.
- ARAÚJO, J.C.T.; NASCIMENTO, C.W.A. Redistribuição entre frações e teores disponíveis de zinco em solos incubados com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2005. (No prelo).
- BECKETT, P.H.T.; DAVIS, R.D. The additivity of the toxic effects of Cu, Ni and Zn in young barley. *New Phytol.*, v.81, p.187-192, 1978.
- BERTI, W.R.; JACOBS, L.W. Chemistry and phytotoxicity of soil trace elements from repeated sewage sludge applications. *Journal Environmental Quality*, v.25, p.1025-1032, 1996.

- BERTON, R.S. et al. Peletização do lodo de esgoto e adição de  $\text{CaCO}_3$  na produção de matéria seca e absorção de Zn, Cu e Ni pelo milho em três LATOSSOLOS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.685-691, 1997.
- COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO DE PERNAMBUCO. **Recomendação de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. Recife: IPA, 1998. 198p.
- De FILIPPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo** (metodologia 2ª edição). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 26p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa solos, Embrapa Informática Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.
- FERNANDES, F.; ANDREOLI, C.V. **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no estado do Paraná**. Curitiba: SANEPAR, 1997. 96p.
- JARAUSCH-WEHRHEIM, B. et al. Absorption and translocation of sludge-borne zinc in field-grown maize (*Zea mays* L.). **European Journal of Agronomy**, v.11, p.23-33, 1999.
- KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492p.
- LINDSAY, W.L.; NORWELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, manganese and copper. **Soil Science Society American Journal**, v.42, p.421-428, 1978.
- LOGAN, T.J. et al. Field assessment of sludge metal bioavailability to crops: sludge rate response. **Journal Environmental Quality**, v.26, p.534-550, 1997.
- MARTINS, A.L.C. et al. 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 do Solo**, v.27, p.563-574, 2003.
- NASCIMENTO, C.W.A. et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.385-392, 2004.
- OLIVEIRA, F.C. **Metais pesados e formas nitrogenadas em solos tratados com lodo de esgoto**. 1995. 90f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- SILVA, J.E. et al. Alternativa agrônoma para o bio-sólido 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.
- UNITED STATES - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Title 40 CFR – Part 503. Final rules: standards for the use or disposal of sewage sludge. **Federal Register**, v.58 p.9387-9415, 1993.
- WINDER, L. et al. The tri-trophic transfer of Zn from the agricultural use of sewage sludge. **Science Total Environmental**, v.229, p.73-81, 1999.