

Comportamento do chumbo em solo argiloso tratado com lodo de esgoto contaminado e sua absorção pelas plantas

Margarete Soares da Silva¹, Sílvia Naves de Souza², Ervim Lenzi^{2*} e Eduardo Bernardi Luchese³

¹Departamento de Ciências, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Campo Grande-Mato Grosso do Sul, Brazil.

²Departamento de Química, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá-Paraná, Brazil.

³Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon-Paraná, Brazil. *Author for correspondence.

RESUMO. Num solo argiloso, terra roxa estruturada (TRe), colocado em tubos de PVC (80 cm de altura e 10 cm de diâmetro) em casa-de-vegetação foram aplicados, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, 5 tratamentos com lodo de esgoto contaminado com Pb. Três com chumbo, em $\mu\text{g.g}^{-1}$, nas concentrações: zero (testemunha); 2.500; 5.000, e dois tratamentos com a mistura chumbo + cádmio (como interferente), ambos em $\mu\text{g.g}^{-1}$, nas concentrações de 2.500 + 2.500 e 5.000 + 5.000, respectivamente. Os solos dos tubos que receberam os tratamentos foram cultivados com milho durante dois meses e meio. As análises dos solos tratados mostraram metal pesado Pb apenas na camada de 0 a 20 cm de profundidade, onde foi aplicado o lodo contaminado. Nas profundidades de 20 a 60 cm a concentração de chumbo foi estatisticamente constante em todos os tratamentos e não se diferenciando do testemunha. Os intervalos de concentrações de Pb encontrados na parte aérea das plantas, 13 a 18 $\mu\text{g.g}^{-1}$, para todos os tratamentos, foram inferiores aos valores considerados fitotóxicos citados na literatura, 30 a 300 $\mu\text{g.g}^{-1}$. Não foram observadas interferências do cádmio no comportamento do chumbo.

Palavras-chave: lodo de esgoto, chumbo em plantas, chumbo em solo, metal pesado.

ABSTRACT. Behaviour of lead in a clayey soil treated with contaminated sewage sludge and its absorption by plants. In a clayey soil placed in PVC tubes (80cm high and 10cm in diameter) five treatments were applied with sewage sludge contaminated with Pb. Three with lead, in $\mu\text{g.g}^{-1}$, at the concentrations of 0 (control); 2,500; 5,000, and two treatments with a mixture of lead + cadmium (as interferer), in $\mu\text{g.g}^{-1}$ each, at the concentrations of 2,500 + 2,500 and 5,000 + 5,000 respectively. The soils in the tubes that received the treatment were cultivated with maize during two and a half months in a greenhouse. The soil analyses for the treatments showed heavy metal Pb only at the surface (from 0 to 20 cm depth). In the depth from 20 to 60 cm the concentration was steady showing a non-significant difference between the treatments and control. The Pb concentration interval found in the aerial parts of the plants (13 - 18 $\mu\text{g.g}^{-1}$) for all the treatments was inferior to the interval values considered phytotoxic by the literature (30 - 300 $\mu\text{g.g}^{-1}$). No interference of cadmium on lead behaviour was observed.

Key words: sewage sludge, soil lead, heavy metal, plant lead, lead pollution.

A atividade antrópica em sociedade gera os mais variados tipos de rejeitos denominados lixos (Lima, 1985). Estes, quase sempre, são constituídos por uma grande percentagem de matéria orgânica, que pode ser transformada em adubo orgânico (IPT, 1995). Um tipo de rejeito antrópico, próprio dos centros urbanos, é o esgoto doméstico, o qual devidamente tratado gera um resíduo denominado

lodo de esgoto, cuja utilização, devido a sua variada composição de contaminantes (metais pesados, germes patogênicos, etc.), carece ainda de estudos (Almeida *et al.*, 1998 e Bertoncini, 1997). Contudo, hoje já existem trabalhos sobre a possibilidade de se fazer adubações com lodo de esgoto na agricultura de acordo com Favaretto *et al.* (1997) e McBride

(1995). Há porém, o problema da contaminação com os metais pesados que tais lodos podem conter.

O termo *metal pesado* refere-se aos elementos de densidade maior que 5 g.cm^{-3} , com número atômico acima de 20 e com caráter eletropositivo (Malavolta, 1994). O chumbo, além do estado metálico, pode apresentar-se em dois estados de oxidação, Pb^{2+} e Pb^{4+} , mas a sua forma predominante é o Pb^{2+} (McBride, 1994, e Pankow, 1991).

Em rochas e solos o Pb geralmente é um elemento-traço, isto é, encontra-se em concentrações menores que 0,1% em peso. Ele possui grande afinidade com o enxofre e apresenta-se nas formas minerais de PbS (galena), PbTe (altaíta), PbFe_4O_7 (plumboferrita), PbSO_4 (anglesita), (Betejtin, 1977). As concentrações naturais de Pb em solos vão de 10 a $84 \mu\text{g.g}^{-1}$ (McLaughlin et al., 1996; McBride, 1994; Craig, 1980, e Taylor, 1965).

O Pb tende a acumular-se em solos e sedimentos devido à sua baixa solubilidade e não sofrer degradação microbiana (Alloway, 1990). Brady (1989) diz que ele é quase insolúvel nos solos, sobretudo, quando o meio não é ácido, permanecendo na maior parte na superfície do solo.

Apesar de o Pb ocorrer naturalmente nas plantas, é pouco provável que ele tenha algum papel essencial no metabolismo das mesmas. Kabata-Pendias e Pendias (1992) concluíram que o modo de as plantas absorverem o Pb é passivo, realizado essencialmente pelas raízes e que a absorção é reduzida pela calagem e baixas temperaturas.

Não é simples estabelecer que concentração de Pb é tóxica nos processos vitais das plantas, pois os sintomas tóxicos não são muito específicos (Truby, 1995, e Kabata-Pendias e Pendias, 1992).

A absorção de metais pelas plantas não é somente influenciada pela concentração, forma e propriedades físico-químicas do solo, mas também pela espécie, nutrição, estágio de crescimento e outros fatores, tais como a sensibilidade da planta ao metal absorvido (Chlopecka, 1994). Conforme McLaughlin et al. (1996), o Pb absorvido pela superfície das raízes das plantas é retido ali, havendo uma mínima translocação para outras partes.

A concentração de metais pesados em solos agrícolas está aumentando devido à deposição atmosférica, aditivos em alimentos e uso de fertilizantes comerciais (McBride, 1995). Contudo, de acordo com este autor, estes aumentos são pequenos se comparados com os aumentos provocados por causa do uso de lodo de esgoto na agricultura. Em nível mundial, o lodo de esgoto apresenta valores de concentração de chumbo que

oscilam num intervalo de 136 a $7.627 \mu\text{g.g}^{-1}$, com média de $1.832 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Adriano, 1986).

Defensores do uso do lodo de esgoto como adubo acreditam que adubar os solos com lodos requer a habilidade de manter o metal tóxico em formas não-disponíveis. A curto prazo, experimentos a campo mostram que as propriedades adsorvedoras do lodo diminuem a disponibilização de muitos dos metais para as plantas. Tal propriedade é atribuída à grande quantidade de matéria orgânica contida no lodo; contudo, este efeito protetor não pode ser considerado permanente e nem efetivo para todos os metais tóxicos, pois parte desta matéria orgânica será também mineralizada. Alloway (1990) diz que a matéria orgânica aparece no papel de controladora da absorção de elementos-traços pelas plantas, dependendo se ela é solúvel (ácidos fúlvicos) ou insolúvel (ácidos húmicos).

Lodos de esgoto podem ser usados na agricultura, como adubo orgânico, apresentando efeitos benéficos sobre a produção. Ao longo do tempo, porém o acúmulo de metais pode se tornar problemático, pois as concentrações de Cd, Cu, Ni e Zn, e outros, contidas nesses lodos, podem se tornar tóxicas para as plantas (Silva, 1998, e Berti e Jacobs, 1996).

Os regulamentos estabelecidos pela *United States Environmental Protection Agency* (Uepa - 503) mostram limites de valores que são permitidos para concentrações de metais pesados em solos, felizmente esses valores não têm sido alcançados, exceto para alguns casos (McBride, 1995).

Tendo em vista tal problema, o presente trabalho tentou determinar parâmetros, tais como: a percolação; a difusão; a exportação de metais pelas plantas, que permitam inferir informações sobre a possibilidade de usar lodos de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), como matéria orgânica para melhorar a fertilidade de um solo argiloso (terra roxa estruturada), mesmo estando estes contaminados com metais pesados, neste estudo: o chumbo e o cádmio como interferente.

Materiais e métodos

Coleta e análises preliminares do solo e do lodo de esgoto. O solo argiloso, terra roxa estruturada (TRe), foi coletado na região de Maringá. Sua caracterização química e física se encontra na Tabela 1. A coleta foi feita verticalmente, separando alíquotas correspondentes a cada 20 cm até 80 cm de profundidade.

O lodo de esgoto foi obtido junto à Companhia de Saneamento do Paraná - Sanepar, Regional de Maringá. Do lodo, após homogeneizado e secado,

foi tomada uma alíquota em triplicata, digerida com solução nitro-perclórica e determinado o teor de K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn, Pb e Cd lido pela técnica da espectrometria de absorção atômica, modalidade chama, no espectrômetro da Varian, Spectr AA 10 - PLUS. O N, P e C foram dosados com os métodos clássicos e de rotina do Laboratório de Agroquímica e Meio Ambiente (Universidade Estadual de Maringá). A Tabela 2 apresenta as características químicas determinadas, encontrando-se para o Pb o valor médio de $122 \mu\text{g.g}^{-1}$.

Montagem do experimento. O solo coletado foi peneirado em peneira de malha de 2-mm e colocado em 15 tubos de PVC de quatro polegadas de diâmetro, Figura 1A, de forma a reproduzir a distribuição de suas camadas do local de coleta.

À primeira camada de solo de cada tubo (0 a 20 cm de profundidade) foi adicionado lodo contaminado, na quantidade de $3,0 \text{ g.kg}^{-1}$, o equivalente à aplicação de 6 t.ha^{-1} , com base no material secado em estufa a 65°C . Os tubos de PVC utilizados possuíam orifícios laterais com tubos-sonda a cada 10 cm de profundidade, a partir dos primeiros 20 cm da parte superior do tubo, de maneira a permitir a coleta das amostras de solo para análise, Figura 1B. As amostras de solo colocadas nos tubos-sonda eram correspondentes à camada de solo do tubo de PVC. A parte interna dos tubos-sonda foi perfurada para permitir a passagem da solução do solo pela amostra confinada na sonda, permitindo, assim, determinar a concentração de Pb e sua percolação no sentido vertical e difusão no horizontal.

Preparação do lodo e adubação. No lodo de esgoto foi feita a correção do pH para 6,0 através de calagem, utilizando-se uma mistura de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio na proporção de 3:1 (Malavolta, 1981). Após, adicionaram-se ao lodo doses de Pb e Cd. As doses de Pb e Cd adicionadas ao lodo, em $\mu\text{g.g}^{-1}$, foram, respectivamente: 0 e 0 (testemunha); 2.500 e 0; 5.000 e 0; 2.500 e 2.500; 5.000 e 5.000. O Cd foi adicionado para estudar suas possíveis interferências no comportamento do Pb.

O lodo preparado com as respectivas contaminações foi adicionado à camada de 0 a 20 cm dos respectivos tubos na dose de 6 t.ha , o que corresponde a $3,0 \text{ g}$ de lodo por quilograma de solo. Dessa forma as quantidades de Pb e Cd em $\mu\text{g.g}^{-1}$, no solo de cada tubo, resultantes do acréscimo do lodo contaminado, foram : 0 e 0; 7,5 e 0; 15 e 0; 7,5 e

7,5; 15,0 e 15,0, respectivamente. Todos os tratamentos foram feitos com três repetições. Os sais utilizados foram PbCl_2 e CdCl_2 . Estas misturas (lodo e solo), após preparadas, ficaram incubadas por aproximadamente quatro semanas (Silva, 1997). Os solos não receberam nenhuma outra adubação de macro e micronutrientes a não ser os contidos no lodo.

Instalação e condução do experimento. Após a montagem do experimento em casa de vegetação, foi feito o plantio de seis sementes de milho por vaso a uma profundidade de 2 cm da superfície do solo. Passados seis dias após a germinação, fez-se o desbaste das plantas, eliminando-se as menos desenvolvidas. Passados mais seis dias, fez-se um novo desbaste deixando-se apenas duas mudas, com aproximadamente o mesmo porte, por tubo. As mudas receberam cuidados diários de regas, observação e eliminação de pragas, arejamento da casa de vegetação, entre outros. Fizeram-se trocas aleatórias com relação à disposição dos tubos na bancada da casa de vegetação. E, para dar condições para a percolação dos contaminantes, foram feitas regas a cada 7 dias com uma quantidade de água duas vezes superior a da chuva de maior precipitação na região de Maringá nos últimos 20 anos ($111,2 \text{ mm}$ por precipitação).

Coleta das mudas de milho e amostragem dos solos. Setenta e cinco dias após o plantio, as mudas foram colhidas (parte aérea), lavadas e colocadas para secar ao ar livre, depois de secas foram colocadas em estufa a 80°C por 48 horas (Scott *et al.*, 1971). A seguir foram pesadas (Tabela 4), moídas, (moinho Marconi, modelo MA 048) e estocadas em sacos plásticos para posteriores análises. As amostras de solo da camada da superfície (0 a 20 cm de profundidade) e dos tubos-sonda foram retiradas uma semana após a colheita do milho, trituradas em gral de porcelana, peneiradas e armazenadas. A amostra de solo de cada tubo-sonda foi dividida em duas partes, a interna (i) que ficou dentro do vaso de PVC na qual se objetivou analisar a possível percolação do metal e a parte externa (e) à possível difusão do metal.

Análise das amostras de plantas e solo. As amostras foram abertas através da decomposição por via úmida utilizando-se uma mistura nitro-perclórica, de acordo com a técnica (Horwitz, 1980) descrita a seguir:

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo *in natura* da camada de 0 a 20 cm de profundidade utilizado no experimento

pH (H ₂ O)	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Fe	Cu	Mn	Argila	Silte	areia	Pb
	← cmol.dm ⁻³ →					← mg.dm ⁻³ →			← % →			μg.g ⁻¹
5,3	0,0	0,76	0,96	0,35	0,030	114,7	2,97	75,6	32,0	2,0	66,0	38,7*

* O intervalo de valores da concentração de chumbo em solos naturais em nível mundial é 10 a 84 μg.g⁻¹ (McBride, 1994). As análises foram realizadas no Laboratório de Agroquímica e Meio Ambiente da UEM

Tabela 2. Caracterização química do lodo de esgoto

Material	N	P	K	Ca	Mg	S	C	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Cd
	← (%) →							← (ppm) →					
LE*	2,92	0,82	0,18	3,08	1,02	0,32	24,3	146	1327	6128	262	122	3,50

* Lodo de esgoto

Para 0,5000 g de amostra, em duplicata, em tubo digestor, adicionaram-se 5 mL de ácido nítrico concentrado, deixando-se que toda a amostra ficasse embebida pelo ácido durante 16 horas aproximadamente para digestão de toda a matéria orgânica. Após, adicionaram-se 1,5 mL de ácido perclórico a 60%. Aqueceu-se em chapa elétrica a 170 °C durante quatro horas, deixou-se esfriar e transferiu-se quantitativamente para um balão volumétrico de 25-mL.

As concentrações de chumbo das respectivas amostras foram obtidas por espectrometria de absorção atômica, utilizando-se a modalidade chama com o espectrômetro anteriormente citado, obedecendo às normas de calibração dadas pelo respectivo manual de operação e cuidados preconizados por Welz (1985). Na curva analítica, foi obtido o limite de detecção do método $c_L = 0,40 \mu\text{g.mL}^{-1}$ (Analytical Methods Committee, 1987). Os resultados experimentais encontram-se nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Concentrações de Pb, em μg.g⁻¹, no solo para os diferentes tratamentos e profundidades

Profundidade (cm)	Solo (TRe) + Tratamento (contaminação)*				
	Testemunha	Pb 2.500	Pb 5.000	Pb 2.500 + Pb 5.000 + Cd 2.500	Pb 5.000 + Cd 5.000
Superfície	41,7 a**	46,4 b**	54,9 c**	48,4 b	55,6 c
20	i 39,5 a	37,8 a	39,6 a	38,8 a	40,7 a
	e 39,3 a	37,8 a	40,8 a	38,2 a	41,3 a
30	i 41,3 a	38,3 a	40,5 a	38,2 a	40,4 a
	e 39,3 a	37,7 a	41,5 a	37,0 a	40,9 a
40	i 38,5 a	39,5 a	40,7 a	37,3 a	40,0 a
	e 38,2 a	39,5 a	41,0 a	36,7 a	41,3 a
50	i 36,8 a	38,7 a	40,2 a	38,8 a	40,4 a
	e 37,3 a	37,0 a	40,7 a	38,4 a	40,3 a
60	i 36,8 a	37,8 a	40,1 a	37,4 a	39,3 a
	e 37,3 a	37,2 a	41,0 a	36,6 a	39,2 a

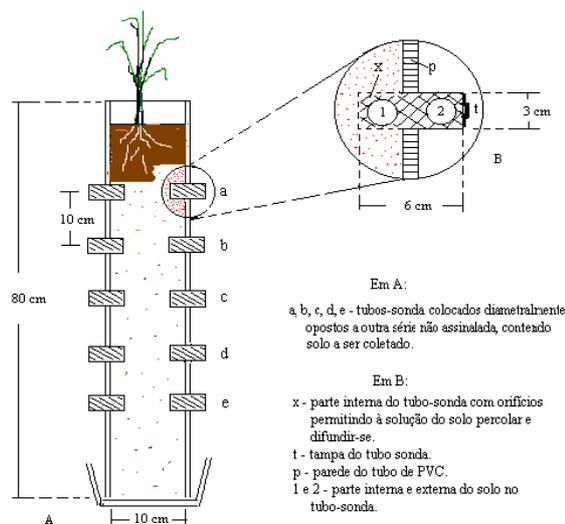
i - parte interna do tubo-sonda; e - parte externa do tubo-sonda; * - Concentrações de Pb, em μg.g⁻¹, que os lodos contaminados tinham no ato de sua adição aos solos; Os valores tabelados são médias de análises feitas em triplicata. ** - as letras diferentes expressam diferença significativa entre as médias em nível de 5% de significância pelo teste de Tukey (Silva, 1997)

Os dados experimentais foram submetidos a uma análise de variância e as diferenças significativas, em nível de 5 %, foram analisadas pelo teste de Tukey usando o *software* SANEST.

Tabela 4. Concentrações de Pb e produção de material seco da parte aérea das plantas

Tratamentos	Pb (μg.g ⁻¹)	g.vaso ⁻¹
Testemunha	14,0 b*	4,22 a*
Pb 2.500	13,0 b	3,79 a
Pb 5.000	18,0 a	3,52 a
Cd 2.500 + Pb 2.500	14,0 b	3,82 a
Cd 5.000 + Pb 5.000	16,0 bb	3,35 a

Os valores tabelados são médias de análises, ou medidas, feitas em triplicata. ** - as letras diferentes expressam diferença significativa entre as médias em nível de 5% de significância pelo teste de Tukey (Silva, 1997)

**Figura 1.** Representação de um corte vertical-frontal do tubo de PVC de 4 polegadas, contendo o solo e os tubos-sonda (A) e ampliação de um corte do tubo-sonda (B)

Resultados e discussão

Concentração de Pb no solo. De acordo com a análise estatística dos resultados obtidos das leituras das concentrações de Pb (Tabela 3) observou-se que:

- para a testemunha, não houve nenhuma diferença significativa entre os valores médios das concentrações de Pb da camada 0 a 20cm de profundidade (de agora em diante denominada simplesmente de superfície) e os

- valores médios da parte externa e interna dos tubos-sonda até a profundidade de 60 cm;
- as concentrações médias de todas as camadas da superfície do solo (0 a 20 cm de profundidade) para os diversos tratamentos diferenciaram-se significativamente das concentrações médias de Pb das demais profundidades respectivamente;
 - as concentrações médias das profundidades 20, 30, 40, 50, e 60 cm, tanto da parte interna (i) quanto da externa (e), respectivamente para todos os tratamentos não se diferenciaram significativamente entre si e entre as respectivas médias do testemunho, o que permite concluir que não houve percolação e nem difusão do Pb, que permaneceu concentrado na camada de 0 a 20 cm de profundidade, onde foi colocado inicialmente com o lodo, conforme foi dedetado anteriormente (Silva *et al.*, 1998);
 - as concentrações médias de Pb dos tratamentos Pb e Pb+Cd nas concentrações 5.000 $\mu\text{g g}^{-1}$, da camada de 0 a 20 cm de profundidade, diferiram de forma significativa na respectiva camada da testemunha.

Um dos fatores principais de o Pb ter ficado na camada de 0 a 20 cm de profundidade é a matéria orgânica presente, que, em função do pH do solo, apresenta sítios negativos, isto é, desprotonados, transformando-se em bases de Lewis que reagem com os ácidos de Lewis (Pb^{2+}), formando compostos de coordenação, mais conhecidos por complexos, evitando, assim, a liberação do Pb e, como consequência, a percolação e a difusão do mesmo, pois ficou *ligado quimicamente* à estrutura sólida da matéria orgânica.

Concentração de Pb na parte aérea das plantas e produção de material seco. De acordo com os resultados obtidos das médias das concentrações de Pb na parte aérea das plantas (Tabela 4) observou-se que somente o tratamento Pb 5.000 $\mu\text{g.g}^{-1}$ diferenciou-se significativamente da testemunha. Não houve diferença significativa entre os tratamentos Pb e Pb + Cd, quando comparados nas mesmas concentrações.

Os valores encontrados para as concentrações de Pb, na parte aérea das plantas (Tabela 4) não alcançaram os níveis fitotóxicos citados na literatura, que variam de 30 a 300 $\mu\text{g.g}^{-1}$, (Kabata Pendias e Pendias, 1992, e Malavolta, 1994). Quanto à produção de material seco também não foi observada diferença significativa em nenhum dos tratamentos.

Pela Tabela 4, observa-se que a produção de matéria seca não apresentou diferença significativa entre os valores médios em g.vaso^{-1} dos tratamentos e a testemunha.

Pelos resultados analisados e conclusões inferidas sobre a percolação a difusão, o chumbo absorvido pelas plantas de milho e pela massa produzida de matéria seca de milho, com os experimentos com interferente cádmio e sem, o cádmio não interferiu no comportamento do chumbo.

Um objetivo do trabalho foi a utilização dos dados na extrapolação matemática do parâmetro: quantas adubações com o lodo estudado poderiam ser feitas para se alcançar um determinado nível crítico do Pb no solo que levaria o metal pesado a níveis tóxicos na planta? Para isto, foi feito o seguinte raciocínio. A concentração de Pb no lodo utilizado (obtido da ETE) era de 122 $\mu\text{g.g}^{-1}$. Partindo deste valor e considerando-se que a cada adubação feita nada se perderia do metal pesado Pb, seria possível fazer uma progressão aritmética para estimar quantas adubações poderiam ser feitas até atingir as concentrações de Pb encontradas nos solos que receberam os tratamentos com lodo contaminado na concentração de 5.000 $\mu\text{g.g}^{-1}$. A equação da progressão aritmética (PA) é dada por

$$A_n = a_1 + (n-1).r$$

Onde:

A_n = termo geral da PA. Representa a concentração total de Pb após n repetições da adubação com lodo contendo 122 $\mu\text{g.g}^{-1}$;

a_1 = 1º termo da PA. Representa a concentração inicial de Pb colocada no solo com a 1ª aplicação de lodo contendo 122 $\mu\text{g.g}^{-1}$;

n = número de termos da PA. Representa o nº de aplicações do lodo que poderão ser feitas até atingir a concentração de Pb no valor de 5.000 $\mu\text{g.g}^{-1}$;

r = razão em que aumenta a concentração de Pb no solo a cada aplicação de lodo.

Introduzindo os valores na equação e calculando, tem-se:

$$5.000 = 122 + (n-1).122$$

$$n = 40,9$$

Conforme calculado pela equação da progressão aritmética, o número de adubações, feitas nas condições do experimento, corresponde a aproximadamente 41 adubações, na quantidade de 6 t.ha⁻¹, sem atingir valores fitotóxicos de Pb na parte aérea das plantas, segundo o presente experimento. Se for feita uma adubação por ano levar-se-ia 41 anos para alcançar estes níveis.

Pelos resultados obtidos e discussões, conclui-se que:

1. o chumbo aplicado no lodo contaminado ficou apenas na camada de 0 a 20 cm de profundidade, não havendo percolação e difusão em nenhum dos tratamentos;
2. não foi observada interação do Cd com o Pb no solo e nem interferência deste na absorção do Pb pelas plantas;
3. não houve diferença significativa entre os tratamentos na produção de material seco;
4. os valores encontrados para as concentrações de Pb, na parte aérea das plantas não são considerados fitotóxicos.

Referências bibliográficas

- Adriano, D.C. *Trace elements in the terrestrial environment*. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 533 p.
- Alloway, B.J. (Ed.). *Heavy metals in soils*. New York: John Wiley & Sons, 1990. 339 p.
- Almeida, V.C.; Lenzi, E.; Favero, L.O.B.; Luchese, E.B. Avaliação do teor de alguns metais e de nutrientes de lodos de Estações de Tratamento de Esgoto de Maringá. *Acta Scient.*, 22(4):419-425, 1998.
- Analytical Methods Committee. Recommendations for the definition, estimation and use of the detection limit. *Analyst*, 112:199-204, 1987.
- Berti, W.R.; Jacobs, L.W. Heavy metals in the environment, chemistry and phytotoxicity of soil trace elements from repeated sewage sludge applications. *J. Environ. Qual.*, 25:1025-1032, 1996.
- Bertoncini, E.I. Mobilidade de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. Piracicaba, 1997. (Master's Thesis in Agronomy) - Universidade de São Paulo.
- Betjtin, A. *Curso de mineralogia*. 3. ed. Moscú: Editorial MIR, 1977. 739 p.
- Brady, N. C. *Natureza e propriedades dos solos*. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878 p.
- Chlopecka; A. Forms of Cd, Cu, Pb, and Zn in soil and their uptake by cereal crops when applied jointly as carbonates. *Water, Air, Soil Pollut.*, 87:297-309, 1994.
- Craig, P.J. Metal cycles and biological methylation. In: Hutzinger, D. *The handbook of environmental and biogeochemical cycles*. Berlin: Springer-Verlag, 1980.
- Davies, B.E. Lead. In: Alloway, B. J. *Heavy metals in soils*. London: Blackie and John Wiley & Sons, 1990. 339 p.
- Favaretto, N.; Deschamps, C.; Daros, E.; Pissaia, A. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento e produtividade de milho (*Zea mays* L.). *Braz. Arch. Biol. Tecnol.*, 40(4):837-848, 1997.
- Horwitz, W. (Ed.). *Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists - A.O.A.C.* 13.ed. Washington: A.O.A.C., 1980. 1018 p.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 278 p.
- Kabata-Pendias, A.; Pendias, H. *Trace elements in soils and plants*. 2.ed. Boca Raton, Florida-USA: CRC PRESS, 1992. 365 p.
- Lima, L.M.Q. *Tratamento do lixo*. São Paulo: Hemus, 1985. 240 p.
- Malavolta, E. *Fertilizantes e seu impacto ambiental: metais pesados, mitos, mistificação e fatos*. S. Paulo: Produquímica, 1994. 153 p.
- Malavolta, E. *Manual de química agrícola: adubos e adubação*. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596 p.
- McBride, M. B. *Environmental Issues. J. Qual.*, 24:5-18, 1995.
- McBride, M.B. *Environmental chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 1994. 406 p.
- McLaughlin, M.J.; Tiller, K. G.; Naidu, R.; Stevens, D.P. Review of the behaviour and environmental impact of contaminants in fertilizers. *J. Soil Res.*, 34:1-54, 1996.
- Pankow, J.F. *Aquatic chemistry concepts*. Chelsea Michigan-USA: Lewis Publishers, 1991. 673 p.
- Scott, R.O.; Mitchel, R.L.; Purves, D.; Loss, C. *Spectrochemical methods for the analysis of plants, soils and agricultural materials*. Aberdeen: The Macaulay Institute for Soil Research, 1971. 98 p.
- Silva, M.S. *Avaliação de parâmetros referentes ao chumbo (Pb) em solos com aplicação de lodo de esgoto contaminado pelo mesmo*. Maringá, 1997. (Master's Thesis in Applied Chemistry) - Universidade Estadual de Maringá.
- Silva, M.S.; Souza, S.N.; Lenzi, E.; Luchese, E.B. Comportamento do chumbo (Pb) num Latossolo Vermelho Escuro textura média tratado com lodo contaminado e sua absorção pelas plantas. *Acta Scient.*, 20(4):427-432, 1998.
- Taylor, S.R., Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28:1273-1285, 1965.
- Truby, P. Distribution patterns of heavy metals in forest trees on contaminated sites in Germany. *Angew. Bot.*, 69:135-139, 1995.
- Welz, B. *Atomic absorption spectrometry*. 2.ed. Weinheim (Germany): VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1985. 506p.

Received on July 20, 1999.

Accepted on October 19, 1999.