



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

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 do Solo, vol. 28, núm. 2, 2004, pp. 385-392

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214034017>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

ALTERAÇÕES QUÍMICAS EM SOLOS E CRESCIMENTO DE MILHO E FEIJOEIRO APÓS APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO⁽¹⁾

**C. W. A. NASCIMENTO⁽²⁾, D. A. S. BARROS⁽³⁾,
E. E. C. MELO⁽³⁾ & A. B. OLIVEIRA⁽⁴⁾**

RESUMO

O lodo de esgoto obtido do tratamento das águas servidas contém considerável percentual de matéria orgânica e de elementos essenciais para as plantas, podendo desempenhar importante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo. O presente trabalho objetivou estudar o efeito da aplicação de doses crescentes de lodo produzido pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) sobre as características químicas de dois solos, quantidades de metais pesados absorvidas e crescimento de plantas de milho e de feijoeiro cultivadas em casa de vegetação, visando à futura utilização do lodo em ensaios de campo. Foram utilizados dois tipos de solos com diferentes teores de argila aos quais foram adicionadas seis doses de lodo de esgoto (equivalentes a 0, 10, 20, 30, 40 e 60 Mg ha⁻¹). As aplicações promoveram diminuição do pH e aumento dos teores de matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, potássio, sódio, cálcio e magnésio em ambos os solos, exceção feita aos teores de sódio e potássio de um deles. As doses de lodo de esgoto aumentaram a produção de matéria seca do milho e do feijoeiro. Os teores dos metais Zn, Cu, Mn, Fe e Pb no lodo, no solo e nas plantas estiveram abaixo dos limites estabelecidos para utilização agrícola, o que permite sua aplicação sem maiores riscos ao ambiente.

Termos de indexação: metais pesados, resíduos orgânicos, biossólido.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em fevereiro de 2003 e aprovado em fevereiro de 2004.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. CEP 52171-900 Recife (PE). E-mail: cwan@bol.com.br

⁽³⁾ Estudante de agronomia, UFRPE. E-mail: dasbarros@yahoo.com.br; jetmelo@uol.com.br

⁽⁴⁾ Mestrando em Ciência do Solo, UFRPE. E-mail: abelbt@bol.com.br

SUMMARY: *SOIL CHEMICAL ALTERATIONS AND GROWTH OF MAIZE AND BEAN PLANTS AFTER SEWAGE SLUDGE APPLICATION*

Sewage sludge from wastewater treatments contains organic matter and plant nutrients that may play an important role in agricultural production and maintenance of soil fertility. The present study aimed to evaluate the effect of increasing sewage sludge rates on soil chemical properties, heavy metal concentration in soils and plants, and the growth of maize and bean plants cultivated in pots under greenhouse conditions. Two soil types with different clay contents were used for application of six sewage sludge rates (equivalent to 0, 10, 20, 30, 40, and 60 Mg ha⁻¹). Sludge application led to a decrease of pH and general increase in organic matter, total nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, calcium, and magnesium concentration, with exception of potassium and sodium contents in one of the soils. Furthermore, the sludge doses increased maize and bean plants dry matter production. The concentration of heavy metal (Zn, Cu, Mn, Fe, and Pb) found in the sewage sludge, soils, and in plants were below the limits established for agricultural use; thus it seems safe to allow their utilization without major risks to the environment.

Index terms: heavy metals, organic waste, biosolid.

INTRODUÇÃO

A crescente população dos centros urbanos é importante produtora de diversos resíduos, os quais, muitas vezes, são acumulados no ambiente sem o adequado tratamento, ou utilização, que possibilite sua reciclagem. Dentre esses resíduos, pode-se destacar o lodo de esgoto, ou biossólido, resultante do tratamento das águas servidas, que apresenta potencialidades para utilização agrícola. Este resíduo contém considerável percentual de matéria orgânica e de elementos essenciais para as plantas, podendo substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais. Graças a essas características, o lodo de esgoto pode desempenhar importante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo.

Dentre os efeitos do lodo de esgoto sobre as propriedades físicas do solo, condicionadas principalmente pela presença de matéria orgânica, destacam-se a melhoria no estado de agregação das partículas do solo, com consequente diminuição da densidade e aumento na aeração e retenção de água (Melo & Marques, 2000). Quanto aos aspectos químicos, a aplicação de lodo ao solo tem propiciado elevação dos teores de fósforo (Silva et al., 2002), de carbono orgânico (Cavallaro et al., 1993), da fração humina da matéria orgânica (Melo et al., 1994), do pH, da condutividade elétrica e da capacidade de troca de cátions (Oliveira et al., 2002).

O lodo de esgoto tem apresentado bons resultados como fertilizante para diversas culturas, dentre elas soja e trigo (Brown et al., 1997), milho (Silva et al., 1997), feijão e girassol (Deschamps & Favaretto, 1997), sendo, portanto, um fertilizante potencial em diversas condições de solo e clima. Barros et al. (2002) verificaram ocorrência de aumento dos teores de nitrogênio em plantas, que foram proporcionais

ao aumento das doses de lodo de esgoto adicionadas, enquanto Silva et al. (2002) comprovaram que o biossólido utilizado obteve eficiência 25 % superior à do superfosfato triplo como fonte de fósforo para o milho. O potássio, em virtude da baixa concentração em lodo, advinda de sua alta solubilidade em água, tem sido o elemento de maior necessidade de suplementação com fertilizantes minerais quando da utilização do lodo para adubação (Ross et al., 1990; Melo et al., 1997).

A presença de metais pesados constitui uma das principais limitações ao uso do lodo na agricultura. De modo geral, as concentrações de metais encontradas no lodo são muito maiores que as naturalmente encontradas em solos, daí a necessidade de avaliação dos riscos associados ao aumento desses elementos no ambiente em decorrência da aplicação desse resíduo. Esses riscos dependem de características do solo, tais como: conteúdo original do metal, textura, teor de matéria orgânica, tipo de argila, pH e capacidade de troca catiônica (CTC). Segundo Andreoli & Pegorini (2000), o uso agrícola do lodo de esgoto foi exaustivamente pesquisado em todo o mundo, não havendo registro de nenhum efeito adverso sobre o ambiente, por exemplo poluição com metais pesados, quando o mesmo foi utilizado seguindo qualquer uma das diferentes regulamentações existentes. A longo prazo, entretanto, o aumento da concentração de metais no solo resultante da aplicação do lodo torna-se uma preocupação justificada, pois, se não adequadamente controlado, pode ameaçar a cadeia trófica (Hue, 1995).

O presente trabalho teve como objetivos avaliar os efeitos da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) sobre as características químicas de dois solos, inclusive quantidades de

metais pesados adicionados e absorvidos, e produção de matéria seca de plantas de milho e de feijoeiro cultivadas em casa de vegetação, visando à sua posterior utilização em ensaios de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

O lodo de esgoto utilizado no ensaio foi produzido na Estação de Tratamento de Esgoto da Mangueira, em Recife, pertencente à COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento). Este material foi seco, destorrado e submetido a digestões sulfúrica para determinação de N; nítrico-perclórica, para determinação dos elementos P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Cu, Mn, Fe e Pb (Malavolta et al., 1989), e combustão em mufla, para determinação do conteúdo de matéria orgânica (Kiehl, 1985). Os resultados dessas análises são apresentados no quadro 1.

Foram utilizadas amostras de dois solos (0-20 cm) com diferentes teores de argila, classificados como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média e Espodossolo Cárbico hidromórfico textura arenosa, coletados no campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Essas amostras foram caracterizadas física e quimicamente (Quadro 2) de acordo com EMBRAPA (1997).

As amostras de solo foram secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha e tiveram sua acidez corrigida com CaCO_3 e MgCO_3 (proporção molar 4:1 de Ca:Mg) para valor de pH próximo à neutralidade, baseado nos teores da acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$). O lodo de esgoto foi adicionado às amostras de solo nas doses de 0, 5, 10, 15, 20 e 30 g dm^{-3} , equivalentes a 0, 10, 20, 30, 40 e 60 Mg ha^{-1} , com

Quadro 1. Caracterização química da amostra de lodo de esgoto da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) utilizada no ensaio

Característica	Valor
pH (água 1:2,5)	5,1
N-total (g kg^{-1})	22,5
Carbono (g kg^{-1})	285,9
Matéria orgânica (g kg^{-1})	493,0
Relação C/N-total	12,7
P (g kg^{-1})	45,0
K (g kg^{-1})	2,1
Na (g kg^{-1})	0,3
Ca (g kg^{-1})	9,4
Mg (g kg^{-1})	1,2
Cu (mg kg^{-1})	155
Zn (mg kg^{-1})	548
Mn (mg kg^{-1})	207
Pb (mg kg^{-1})	120
Fe (mg kg^{-1})	16.909

Quadro 2. Caracterização química e física das amostras dos solos utilizadas no ensaio

Característica	Espodossolo	Argissolo
pH H_2O (1:2,5)	5,2	5,0
P (mg dm^{-3})	1,28	1,45
K (cmolc dm^{-3})	0,09	0,06
Ca ²⁺ (cmolc dm^{-3})	1,00	0,40
Mg ²⁺ (cmolc dm^{-3})	0,40	0,60
Al ³⁺ (cmolc dm^{-3})	0,45	0,75
H+ Al (cmolc dm^{-3})	2,36	2,31
CTC _{efetiva} (cmolc dm^{-3})	1,94	1,81
CTC _{total} (cmolc dm^{-3})	3,85	3,37
V (%)	43	31
m (%)	29	41
C.O. (g kg^{-1})	4,6	6,0
M.O. (g kg^{-1})	7,9	10,3
Areia grossa (g kg^{-1})	600	490
Areia fina (g kg^{-1})	140	140
Silte (g kg^{-1})	140	130
Argila (g kg^{-1})	120	240

posterior incubação por 90 dias, após a qual foram novamente coletadas amostras dos solos para determinação do pH e dos teores de N total, Ca, Mg, K e Na trocáveis, P disponível e matéria orgânica, seguindo os métodos preconizados por EMBRAPA (1997). Para comparação com a produção de matéria seca proporcionada pelas doses do lodo, foi utilizado um tratamento adicional composto de fertilização mineral completa de acordo com Alvarez V. (1974), ao qual foram adicionados, para cada dm^3 de solo, 250 mg de N, 400 mg de P, 150 mg de K, 100 mg de S, 0,813 mg de B, 1,56 mg Fe, 0,15 mg de Mo, 3,66 mg de Mn, 4 mg de Zn e 1,32 mg de cobre.

Os teores disponíveis dos metais Zn, Cu, Mn, Fe e Pb foram extraídos dos solos pela solução DTPA-TEA (Lindsay & Norvell, 1978) e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica.

As amostras que continham as doses de lodo foram transferidas para vasos com capacidade de 2,5 dm^3 nos quais foram semeados milho e feijão, deixando-se, após o desbaste, duas plantas por vaso, as quais foram cultivadas por 40 dias. Durante o ensaio, as amostras foram mantidas com 80 % da capacidade de campo, mediante pesagem e irrigação diárias para complementação da água perdida por evapotranspiração. Ao final do período de cultivo, as plantas foram cortadas rente ao solo e a matéria seca da parte aérea, após secagem em estufa por 72 h, foi quantificada por gravimetria. O material vegetal foi submetido à digestão nítrico-perclórica (Malavolta et al., 1989) e, nos extratos, foram dosados os metais Fe, Zn, Cu, Mn e Pb por espectrofotometria de absorção atômica.

O ensaio foi montado em um delineamento de blocos casualizados com três repetições, sendo os

dados obtidos submetidos à análise de variância e de regressão utilizando o software SAEG (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas) da Universidade Federal de Viçosa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH de ambos os solos apresentaram decréscimos lineares e significativos com o aumento da dose de lodo utilizada (Quadros 3 e 4); no entanto, mesmo para a maior dose aplicada, o pH permaneceu em valores adequados para o crescimento de plantas. Este resultado decorre da utilização no presente ensaio de lodo de esgoto não calado, portanto de pH ácido (Quadro 1). Em diversos trabalhos, tem sido relatado efeito oposto, ou seja, a eficiência do lodo em aumentar o pH do solo (Melo & Marques, 2000; Oliveira et al., 2002) em razão da alcalinidade dos materiais utilizados, visto que, no processo de tratamento do lodo utilizado nestes ensaios, são adicionadas cal virgem (CaO) ou cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), objetivando a eliminação de patógenos e estabilização do resíduo (Fernandes, 2000). Portanto, a extensão das alterações no pH depende, além da textura e capacidade tamponante do solo, do tipo de tratamento que o lodo recebeu (Clapps et al., citados por Oliveira et al., 2002).

Foram observados expressivos aumentos nos teores de matéria orgânica dos solos. Para a dose mais alta utilizada (60 Mg ha^{-1}), os teores de matéria orgânica apresentaram aumentos de 53 % (Espodossolo) e 62 % (Argissolo) (Quadro 3); este aporte proporcionado é especialmente importante para os solos da região Nordeste, que, naturalmente, apresentam teores baixos de matéria orgânica, o que

coloca o lodo de esgoto como mais uma alternativa para elevação dos teores de matéria orgânica desses solos. No entanto, a manutenção de altos teores de matéria orgânica pela adição de lodo dependerá de aplicações sucessivas do resíduo (Oliveira et al., 2002), visto que os efeitos sobre os teores de carbono orgânico podem ser temporários (Melo et al., 1994), em decorrência da decomposição da matéria orgânica.

Houve um aumento importante no teor de nitrogênio total nas amostras com as doses do lodo (Quadro 3), indicando a eficiência do resíduo em suprir N para o crescimento vegetal. Embora os valores indiquem o N total, e não o disponível, a relação C/N do material (em torno de 13) apresenta-se favorável à mineralização e consequente disponibilização do elemento. Cripps et al. (1992) e Cunningham et al. (1975) também relataram aumento na disponibilidade de N de solos tratados com lodo de esgoto. Sabe-se que a aplicação de lodo nas doses utilizadas pode ter aumentado os teores de N disponível a valores danosos ao ambiente, de modo que em ensaios de campo esta possibilidade deve ser considerada. No entanto, os teores de N nas plantas utilizadas neste ensaio, apresentados em Barros et al. (2002), estão dentro da faixa considerada normal para essas culturas (Malavolta et al., 1989; Jones & Wolf, 1991).

Segundo Melo et al. (1997), ainda existem dúvidas quanto ao potencial do lodo em aumentar a disponibilidade de fósforo no solo; no entanto, no presente trabalho, foram obtidos aumentos significativos nos teores de P disponível (Quadro 4), com duplicação dos teores originalmente presentes nas amostras para a dose mais elevada do lodo (Quadro 3). Percebe-se, entretanto, que, mesmo para essa dose, os teores de P disponíveis no solo

Quadro 3. Características químicas de dois solos submetidos a doses crescentes de lodo de esgoto

Dose	pH	N	MO	P	K	Ca	Mg	Na	CTC	Zn	Cu	Mn	Fe	Pb
Mg ha ⁻¹	— g kg ⁻¹ —	mg dm ⁻³	———— mol _c dm ⁻³ —————	———— mg dm ⁻³ —————										
Espodossolo														
0	7,2	8,9	12,7	1,28	0,09	3,93	0,70	0,02	6,96	0,44	1,01	0,09	7,94	1,67
10	7,1	9,6	12,6	1,43	0,07	4,55	0,62	0,04	7,86	1,29	1,08	0,20	8,80	1,49
20	6,8	8,8	14,5	1,92	0,05	5,03	0,62	0,01	8,63	2,05	1,15	0,28	10,5	1,36
30	6,7	11,9	15,9	2,15	0,08	5,43	1,00	0,04	9,67	2,99	1,46	0,45	10,6	1,76
40	6,5	12,8	17,7	2,19	0,09	5,48	0,98	0,06	9,95	3,90	1,65	0,65	14,4	1,94
60	6,2	14,9	19,4	2,91	0,07	6,97	1,22	0,04	11,8	6,90	2,21	0,97	18,7	1,81
Argissolo														
0	7,3	7,3	11,3	1,60	0,06	3,00	0,80	0,10	6,36	0,59	0,37	0,44	4,29	1,05
10	7,1	7,4	10,1	1,77	0,05	3,47	0,95	0,09	7,26	1,14	0,48	0,62	6,03	1,81
20	6,9	7,9	12,9	2,33	0,07	3,58	1,02	0,10	7,55	2,28	0,53	0,68	5,97	1,36
30	6,9	8,2	14,8	2,59	0,09	3,85	1,28	0,11	8,35	3,39	0,76	1,02	6,11	1,11
40	6,3	12,7	16,2	2,65	0,11	4,22	1,42	0,13	8,88	4,22	0,97	1,06	7,55	1,58
60	5,9	13,6	18,3	3,46	0,12	5,03	1,72	0,14	10,0	5,42	1,17	1,68	10,5	2,08

Quadro 4. Equações de regressão obtidas entre as doses de lodo de esgoto aplicadas (Mg/ha) e as características químicas de dois solos

Característica	Espodossolo	R ²	Argissolo	R ²
pH	$\hat{Y} = 7,246 - 0,017^{**}X$	0,98	$\hat{Y} = 7,350 - 0,022^{**}X$	0,94
N total (g kg ⁻¹)	$\hat{Y} = 8,260 + 0,108^{**}X$	0,89	$\hat{Y} = 6,310 + 0,119^{**}X$	0,82
MO (g kg ⁻¹)	$\hat{Y} = 12,149 + 0,124^{**}X$	0,96	$\hat{Y} = 10,277 + 0,136^{**}X$	0,92
P (mg dm ⁻³)	$\hat{Y} = 1,265 + 0,027^{**}X$	0,97	$\hat{Y} = 1,584 + 0,031^{**}X$	0,97
K (cmol _c dm ⁻³)	$\hat{Y} = 0,07$	ns	$\hat{Y} = 0,051 + 0,001^{**}X$	0,88
Ca (cmol _c dm ⁻³)	$\hat{Y} = 3,985 + 0,047^{**}X$	0,96	$\hat{Y} = 2,999 + 0,032^{**}X$	0,98
Mg (cmol _c dm ⁻³)	$\hat{Y} = 0,685 + 0,019^{**}X - 0,077^{**}X^{0.5}$	0,87	$\hat{Y} = 0,781 + 0,015^{**}X$	0,99
Na (cmol _c dm ⁻³)	$\hat{Y} = 0,04$	ns	$\hat{Y} = 0,090 + 0,008^{**}X$	0,85
CTC (cmol _c dm ⁻³)	$\hat{Y} = 7,041 + 0,079^{**}X$	0,99	$\hat{Y} = 6,480 + 0,059^{**}X$	0,99
Zn (mg dm ⁻³)	$\hat{Y} = 0,541 + 0,055^{**}X + 0,008^{**}X^2$	0,99	$\hat{Y} = 0,574 + 0,084^{**}X$	0,98
Cu (mg dm ⁻³)	$\hat{Y} = 0,986 + 0,074^{**}X + 0,002^{**}X^2$	0,99	$\hat{Y} = 0,337 + 0,014^{**}X$	0,97
Mn (mg dm ⁻³)	$\hat{Y} = 7,991 + 0,010^{**}X + 0,001^{**}X^2$	0,99	$\hat{Y} = 0,458 + 0,011^{**}X + 0,001^{**}X^2$	0,98
Fe (mg dm ⁻³)	$\hat{Y} = 7,959 + 0,068^{**}X + 0,019^{**}X^2$	0,98	$\hat{Y} = 4,256 + 0,093^{**}X$	0,90
Pb (mg dm ⁻³)	$\hat{Y} = 1,67$	ns	$\hat{Y} = 1,50$	ns

**: Significativo a 1 %.

encontram-se ainda em níveis baixos, razão por que doses maiores de lodo, ou suplementação com fertilizantes minerais, seriam necessárias para obtenção de altas produtividades pela maioria das culturas. Além de ser fonte de P, o lodo pode atuar diminuindo a adsorção do elemento em solos, graças ao elevado teor de matéria orgânica que poderá fornecer íons orgânicos que competem com o fosfato pelos sítios de adsorção, como discutido por Hue (1995), aumentando a disponibilidade do elemento.

Quanto aos teores de potássio e sódio trocáveis, foram observados aumentos significativos apenas para o Argissolo (Quadro 4), aumentos estes consistente apenas a partir da dose equivalente a 30 Mg ha⁻¹ (Quadro 3). Este resultado, em concordância com o observado em outros trabalhos (Ross et al., 1990; Hue, 1995), deveu-se aos teores relativamente baixos de K e Na no lodo (Quadro 1).

Foi encontrado um comportamento crescente da capacidade de troca de cátions com a aplicação das doses de lodo de esgoto para ambos os solos (Quadro 3). Outros autores (Epstein et al., 1976; Cavallaro et al., 1993) têm apresentado resultados semelhantes. Apesar da relação alta e significativa entre as doses de lodo e a CTC dos solos (Quadro 4), é necessário considerar as ponderações feitas por Oliveira et al. (2002) de que a estimativa da CTC pela soma de bases, como feita neste e em outros trabalhos, pode ocasionar superestimação dessa característica por causa dos teores de Ca e Mg presentes no lodo. Estes autores concluíram que as alterações na CTC podem ser mais bem explicadas pela variação do pH do que pelos acréscimos de carbono orgânico decorrentes da incorporação do lodo ao solo. De qualquer modo, o aumento da

retenção de cátions pela carga orgânica fornecida pelo lodo torna-se extremamente importante para solos de baixa CTC e pobres em matéria orgânica, condição prevalecente nas regiões de clima tropical e nos solos da região Nordeste, especialmente pobres em matéria orgânica.

Os teores de metais pesados com potencial de contaminação adicionados aos solos pela mais alta dose de lodo, 16,4, 4,6, 6,2 e 3,6 mg dm⁻³ para Zn, Cu, Mn e Pb, respectivamente, foram muito menores que os limites preconizados pela Comunidade Europeia (Hue, 1995) e pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 1993), portanto dentro dos limites toleráveis de impacto ambiental.

Para todos os metais analisados, com exceção do Pb, foi observada estreita relação entre as doses do lodo e os teores disponíveis avaliados pelo extrator DTPA (Quadro 4), com aumentos proporcionais a dose zero, mas elevados para Zn e Mn, 12 e 7 vezes respectivamente, em média, para os dois solos (Quadro 3). O Fe, apesar de ser o metal em maior concentração no lodo (Quadro 1), apresentou aumento relativamente pequeno de disponibilidade no solo, indicando encontrar-se no resíduo em formas de baixa disponibilidade, como, por exemplo, óxidos de ferro. Este elemento também apresentou a menor taxa de recuperação em relação ao total adicionado, apenas 4 % para a média dos dois solos (Quadro 5). A maior taxa de recuperação pelo DTPA foi obtida para o Cu, indicando que cerca de 46 % do total adicionado pelo lodo torna-se biodisponível no solo. Para o Zn, este valor foi de 38 %, enquanto, para o Pb, 15 % do total adicionado pode tornar-se disponível.

Quadro 5. Teores totais de metais adicionados aos solos pelo lodo de esgoto, totais recuperados pelo extrator DTPA e percentagens do recuperado em relação ao adicionado

Metal	Solo	Adicionado	Recuperado	% Recuperada
—— mg dm ⁻³ ——				
Zn	ESP	8,8	3,4	39
	ARG	8,8	3,3	37
Cu	ESP	2,5	1,5	60
	ARG	2,5	0,8	32
Mn	ESP	3,3	0,5	15
	ARG	3,3	1,0	30
Fe	ESP	270,5	12,6	5
	ARG	270,5	7,2	3
Pb	ESP	1,92	0,3	15
	ARG	1,92	0,3	15

Quadro 6. Teor e quantidade de metais em plantas de milho e de feijoeiro cultivadas em dois solos, considerando as doses de lodo de esgoto

Dose	Zn		Cu		Mn		Fe		Pb	
	Teor	Quant.	Teor	Quant.	Teor	Quant.	Teor	Quant.	Teor	Quant.
Mg ha ⁻¹ mg kg ⁻¹ µg vaso ⁻¹										
Milho										
Espodossolo										
0	10,1	45,6	6,5	29,1	13,1	59,0	87,7	394,1	16,0	72,1
10	13,0	60,3	6,6	30,6	10,7	49,4	58,2	269,4	10,7	49,5
20	20,2	110,5	6,1	33,3	7,4	40,4	60,5	330,3	6,4	35,1
30	21,2	119,9	6,5	36,6	8,6	48,5	55,7	315,1	12,3	69,6
40	29,3	173,9	6,6	39,2	11,2	66,3	56,9	337,1	11,2	66,6
60	38,0	253,2	5,0	33,2	10,4	69,6	64,8	432,3	12,8	85,6
Argissolo										
0	7,2	15,9	3,3	7,4	8,3	18,5	65,8	146,1	8,1	17,9
10	11,5	28,5	5,6	13,9	13,8	34,2	66,1	164,2	4,8	12,0
20	20,5	73,7	6,6	23,8	11,8	42,5	78,7	283,4	2,7	9,6
30	26,0	113,9	6,1	26,8	8,1	35,3	54,3	238,3	1,3	5,7
40	36,5	180,2	6,6	32,6	12,7	63,0	59,1	291,9	2,4	11,6
60	30,7	153,9	6,4	31,8	22,7	113,5	65,1	326,3	3,0	14,9
Feijoeiro										
Espodossolo										
0	5,9	17,1	5,2	15,0	11,3	32,5	158,7	456,4	18,2	52,3
10	11,7	37,5	5,7	18,4	16,5	53,1	106,2	341,4	17,7	56,7
20	14,7	59,9	5,9	23,8	14,5	59,0	103,4	420,2	15,0	60,9
30	19,7	83,9	6,4	27,1	14,4	61,5	156,1	664,6	18,2	77,4
40	18,1	77,9	5,6	24,1	10,8	46,4	182,8	785,4	18,7	80,5
60	24,2	104,4	5,5	23,6	11,6	49,9	209,6	904,1	16,6	71,5
Argissolo										
0	8,9	21,1	4,0	9,5	9,5	22,3	450,9	1.065,7	8,6	20,2
10	12,5	29,7	5,1	12,1	17,7	41,9	478,9	1.133,4	10,2	24,1
20	26,3	80,6	5,6	17,2	16,4	50,3	304,7	935,4	14,1	43,4
30	29,1	87,9	7,0	21,1	19,7	59,3	471,8	1.423,4	8,6	25,8
40	27,2	103,6	5,7	21,8	15,7	59,9	590,8	2.249,0	18,7	71,3
60	33,1	133,4	6,6	26,7	12,2	49,3	430,7	1.738,7	8,0	32,4

Os teores de metais pesados nas plantas de milho e de feijoeiro (Quadro 6) encontram-se abaixo dos limites tóxicos (Schimidt, 1997; Berti & Jacobs, 1996), motivo pelo qual não foram observados sintomas de fitotoxicidade em nenhum dos tratamentos. O Zn foi o elemento que apresentou maior incremento de absorção com o aumento das doses de lodo aplicadas para ambas as culturas nos dois solos (Quadro 6). Este resultado decorre de sua alta concentração no resíduo (Quadro 1) e, como discutido anteriormente, do maior aumento de biodisponibilidade no solo. Apesar do potencial de toxidez do Zn, o mesmo esteve abaixo do teor considerado fitotóxico (500 mg kg⁻¹) (Chaney & Ryan, 1993). Rappaport et al. (1988), mesmo aplicando teores de Zn via biossólido superiores ao estabelecido pelo USEPA, também não observaram sintomas de toxidez desse elemento em plantas de milho. Segundo Chang et al. (1987), estes resultados podem ser explicados pelo fato de as quantidades de metais absorvidas por plantas cultivadas em solos com adição de lodo de

esgoto serem geralmente inferiores a 1 % da quantidade fornecida pelo resíduo.

As quantidades absorvidas de todos os metais pelo milho foram menores no Argissolo comparativamente ao Espodossolo (Quadro 6), enquanto, no feijoeiro, isto não aconteceu apenas para os metais Zn e Fe (Quadro 6), indicando o efeito da textura do solo sobre a disponibilidade e absorção dos metais.

As plantas de milho e feijoeiro responderam positiva e significativamente às doses de lodo adicionadas em ambos os solos (Figura 1), indicando a potencialidade fertilizante do resíduo.

Considerando os efeitos do lodo sobre a fertilidade do solo, especialmente sobre os teores de N e P, e seus efeitos sobre as características físicas e químicas, o aumento de produção de matéria seca das plantas era esperado. No entanto, comparando a produção obtida com a fertilização mineral completa, que foi de 8,2 e 7,6 g vaso⁻¹ para milho e 5,1 e 3,6 g vaso⁻¹ para feijoeiro no Espodossolo e Argissolo, respectivamente, com as produções obtidas pela maior dose do lodo, verifica-se que a produção de matéria seca pode ser aumentada pela suplementação com fertilizantes minerais. Em concordância com essa observação, Rangel et al. (2002) adicionaram cloreto de potássio a parcelas experimentais que receberam lodo devido aos baixos teores deste elemento no resíduo. Anjos & Matiazzo (2000) adicionaram N e P via fertilizantes minerais em dois solos tratados com biossólido e cultivados com milho, por terem constatado sintomas de deficiência destes macronutrientes nas plantas.

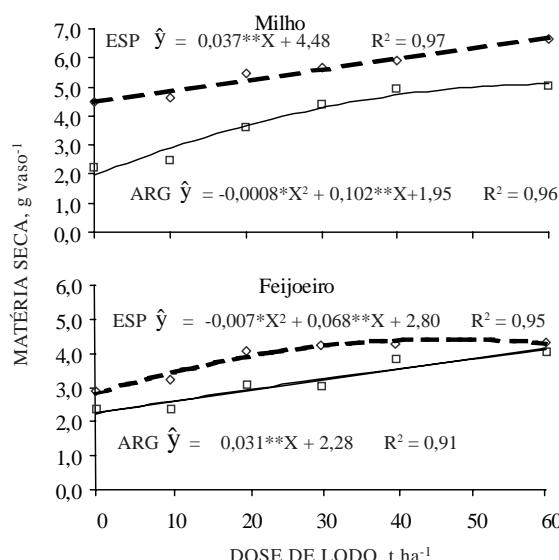


Figura 1. Produção de matéria seca de plantas de milho e feijoeiro em dois solos (Espodossolo - ESP e Argissolo - ARG) tratados com doses crescentes de lodo de esgoto.

CONCLUSÕES

1. A aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto promoveram diminuição do pH e aumento nos teores de matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, potássio, sódio, cálcio e magnésio dos solos, com exceção dos teores de potássio e sódio no Espodossolo que não foram alterados.

2. Os teores dos metais Zn, Cu, Mn, Fe e Pb no lodo da ETE-Mangueira (COMPESA), nos solos e nas plantas, estiveram abaixo dos limites fitotóxicos e estabelecidos para utilização agrícola, o que permite sua aplicação aos solos, até a dose máxima utilizada neste ensaio e em única aplicação, sem danos ao ambiente.

3. As doses de lodo de esgoto aumentaram a produção de matéria seca do milho e do feijoeiro, embora abaixo da obtida pela fertilização mineral completa.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V.H. Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois Latossolos de Minas Gerais. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1974. 125p. (Tese de Mestrado)
- ANDREOLI, C.V. & PEGORINI, E.S. Gestão pública do uso agrícola do lodo de esgoto. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.281-312.
- ANJOS, A.R.M. & MATIAZZO, M.E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com biossólidos. Sci. Agric., 57:769-776, 2000.
- BARROS, D.A.S.; PEIXOTO, J.S.; NASCIMENTO, C.W.A. & MELO, E.E.C. Conteúdo de nitrogênio e produção de biomassa em milho e feijoeiro em solos submetidos a doses de lodo de esgoto. In: FERTBIO, 3., Rio de Janeiro, 2002. Resumos. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. CD-ROM
- BERTI, A.M. & JACOBS, L.W. Chemistry and phytotoxicity of soil trace elements from repeated sewage sludge applications. J. Environ. Qual., 25:1025-1032, 1996.
- BROWN, S.; ANGLE, J.S. & CHANEY, R.L. Correction of limed biosolid induced manganese deficiency on a long term field experiment. J. Environ. Qual., 26:1375-1384, 1997.
- CAVALLARO, N.; PADILLA, N. & VILLARRUBIA, J. Sewage sludge effects on chemical properties of acid soils. Soil Sci., 156:63-70, 1993.
- CHANEY, R.L. & RYAN, J.A. Toxic metals and toxic organics compounds in MSW-composts: research results on phytoavailability, bioavailability, fate, etc. In: HOITINK, H.A. & KEENER, H.M., eds. Science and engineering of composting: Design, environmental, microbiological and utilization aspects. Worthington: Renaissance Publ., 1993. p.451-506.

- CHANG, A.C.; HINESLY, T.D.; BATES, T.E.; DONER, H.E.; DOWDY, R.H. & RYAN, J.A. Effects of long-term sludge application on accumulation of trace elements by crops. In: PAGE, A.L.; LOGAN, T.G. & RYAN, J.A. Land application of sludge. Chelsea, Lewis Publishers, 1987. p.53-66.
- CRIPPS, R.W.; WINFREE, S.K. & REAGAN, J.L. Effects of sewage sludge application method on corn production. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 25:1705-1715, 1992.
- CUNNINGHAM, I.D.; KEENEY, D.R. & RYAN, J.A. Yield and metal composition of crop and rye grown on sewage amended soil. *J. Environ. Qual.*, 4:35-42, 1975.
- DESCHAMPS, C. & FAVARETTO, N. Efeito do lodo complementado com fertilizante mineral na produtividade e desenvolvimento da cultura do feijoeiro e do girassol. *Sanare*, 8:33-38, 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- EPSTEIN, E.; TAYLOR, J.M. & CHANEY, R.L. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. *J. Environ. Qual.*, 5:422-426, 1976.
- FERNANDES, F. Estabilização e higienização de biossólidos. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.45-67.
- HUE, N.V. Sewage sludge. In: RECHCIGL, J.E., ed. *Soil amendments and environmental quality*. Boca Raton, CRC Press, 1995. p.199-168.
- JONES, J.B. & WOLF, B. *Plant analysis handbook*. Athens, Micro-Macro Publishing, 1991. 213p.
- KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo, Agronômica Ceres, 1985. 492p.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:421-428, 1978.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas - princípios e aplicações. Piracicaba, Potafos, 1989. 201p.
- MELO, W.J. & MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.109-141.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SILVA, F.C. & BOARETTO, A.E. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Palestras. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G. & CHELLI, R.A. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:449-455, 1994.
- OLIVEIRA, F.C.; MATIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R. & ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:505-519, 2002.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; BETTIOL, W. & MANZATTO, C.W. Acúmulo de Mn, Zn, Cu, Ni e Pb em Latossolo cultivado com milho sob efeito de fontes e doses de lodo de esgoto. In: FERTBIO, 3., Rio de Janeiro, 2002. Resumos. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. CD-ROM.
- RAPPAPORT, B.D.; MARTENS, D.C.; RENEAU Jr., R.B. & SIMPSON, T.W. Metal availability in sludge-amended soils with elevated metals levels. *J. Environ. Qual.*, 17:42-47, 1988.
- ROSS, C.A.; AITA, C.; CERETTA, C.A. & FRIES, M.R. Utilização de lodo de esgoto como fertilizante: efeito imediato no milheto e residual na associação de aveia + erva-lhaca. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23., Santa Maria, 1990. Resumos. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1990. p.20.
- SCHIMIDT, J.P. Understanding phytotoxicity thresholds for trace elements in land-applied sewage sludge. *J. Environ. Qual.*, 26:4-10, 1997.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & SHARMA, R.D. Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. I - Efeito na produção de milho e adição de metais pesados em Latossolo no cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:487-495, 2002.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & SHARMA, R.D. Utilização do lodo de esgoto como fonte de fósforo e nitrogênio para milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Title 40 CFR – Part 503. Final rules: standards for the use or disposal of sewage sludge. *Federal Register*, 58:9387-9415, 1993.