



## Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto<sup>1</sup>

Samuel B. V. Gomes<sup>2</sup>, Clístenes W. A. Nascimento<sup>2</sup> & Caroline M. Biondi<sup>2</sup>

### RESUMO

O lodo de esgoto contém quantidades consideráveis de elementos essenciais às plantas e elevado teor de matéria orgânica, podendo desempenhar importante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo. Objetivou-se com o presente trabalho, avaliar a produtividade, a composição mineral de plantas de milho e a dose de lodo para máxima eficiência agrônômica em solo tratado com diferentes doses de lodo de esgoto, da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). O experimento foi montado em condições de campo e constituído pela aplicação das doses de 0; 7,7; 15,4; 29,7; 45,1 e 60,5 t ha<sup>-1</sup> de lodo a um Argissolo Amarelo. A produção de grãos aumentou em função das doses de lodo de esgoto, até a aplicação de 26 t ha<sup>-1</sup>, a qual proporcionou a máxima eficiência agrônômica para a produção de milho. A dose de lodo de máxima eficiência agrônômica foi eficiente para elevar os teores de Ca, Mg, Cu, Mn e Zn nas folhas de milho a concentrações nutricionalmente adequadas. Embora os teores de N e Fe na folha tenham aumentado em função das doses de lodo de esgoto, foram insuficientes para suprir a demanda nutricional. Os teores de P e K nas folhas não foram alterados pelas doses de lodo de esgoto.

**Palavras-chave:** resíduos orgânicos, biossólido, absorção de nutrientes, *Zea mays* L

## Productivity and mineral composition of corn plants grown on a sludge-amended soil

### ABSTRACT

Sewage sludge contains high contents of essential elements. Due to such characteristics it may be used in agriculture to improve soil fertility. A field experiment was conducted to study the grain production and mineral composition, as well as the sludge dose for maximum agronomic efficiency, of corn plants grown on a soil amended with sewage sludge from "Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), Pernambuco state, Brazil. Sewage sludge was applied at six rates: 0, 7.7, 15.4, 29.7, 45.1, and 60.5 t ha<sup>-1</sup> on an Ultisol. The results showed that the sludge amendments significantly increased grain production, the application of 26 t ha<sup>-1</sup> being required to reach maximum yield production of corn grains. Such sludge dose was effective for increasing Ca, Mg, Cu, Mn and Zn concentrations in the corn leaves to adequate nutritional levels. Despite the concentrations of N and Fe in leaves increased by sludge application, they were below the adequate level for plant nutrition. Phosphorus and potassium concentrations in leaves were unaffected by sewage sludge doses.

**Key words:** sewage sludge, biosolid, nutrients absorption, *Zea mays* L

<sup>1</sup> Parte da Dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRPE

<sup>2</sup> PPGCS/UFRPE, CEP 52172-900, Recife, PE. Fone: (81) 3320-6220. E-mail: samuelbelo@ig.com.br; clistenes@pq.cnpq.br; agrocarol@yahoo.com.br

## INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto é um dos resíduos obtidos no tratamento das águas servidas (esgotos), com a finalidade de torná-las adequadas para disposição em corpos hídricos receptores, com menor impacto ambiental possível. De acordo com o volume de águas servidas tratadas nas estações de tratamento de esgoto, grande quantidade de lodo pode acumular-se nos pátios dessas estações, tornando a sua disposição final um importante problema ambiental.

Uma das alternativas de disposição final do lodo é o aproveitamento agrícola, pois pode possibilitar melhorias na qualidade do solo e retorno econômico, devido à diminuição do uso de fertilizantes minerais. Vários estudos têm sido realizados com o objetivo de definir critérios agrônômicos para a utilização racional deste resíduo, como também avaliar seu impacto sobre o solo (Berttiol et al., 1983; Biscaia & Miranda, 1996; Berton et al., 1989). Silva et al. (2002) verificaram que o lodo da Companhia de Água e Esgoto de Brasília apresentou eficiência média fertilizante 25% maior que o superfosfato triplo, na produção de milho, em três anos de cultivo. Referidos autores constataram, ainda, que a aplicação de lodo úmido nas doses 54, 108 e 216 t ha<sup>-1</sup>, forneceu quantidades nutricionais adequadas de nitrogênio, fósforo e potássio à cultura, durante os três anos de cultivo. Deschamps & Favaretto (1997) notaram efeito residual da adubação com lodo para a cultura do milho, a qual foi suficiente para o fornecimento de nutrientes durante dois anos de cultivo. Esta eficiência do lodo de esgoto por sucessivos anos agrícolas se deve à sua capacidade de fornecer nutrientes de forma gradual, o que favorece a absorção pelas plantas, principalmente em relação ao nitrogênio, uma vez que este nutriente apresenta alta mobilidade no solo, podendo ser facilmente perdido por lixiviação. Este fornecimento gradual de nutrientes ao solo ocorre em virtude do nitrogênio e do fósforo estarem presentes no lodo, em sua maior parte, na forma orgânica. Portanto as quantidades disponibilizadas às culturas dependem da cinética de mineralização da matéria orgânica. Boeira et al. (2002) estudando a mineralização de N em solo tropical tratado com lodos de esgoto, estimaram que a fração de mineralização potencial de N orgânico dos lodos foi de apenas 31% porém na recomendação de adubação com lodo de esgoto para o Estado do Paraná, considera-se que 50% do nitrogênio e do fósforo estarão disponíveis no primeiro ano de cultivo (Fernandes & Andreoli, 1997).

O potássio é encontrado em baixas concentrações no lodo de esgoto, mas diferentemente do nitrogênio e do fósforo, a maior parte deste elemento se encontra na forma mineral, estando prontamente disponível para as plantas (Deschamps & Favaretto, 1999); no entanto, este tem sido o elemento de maior necessidade de suplementação com fertilizantes minerais, quando da utilização de lodo de esgoto para a adubação (Ross et al., 1990; Nascimento et al., 2004).

De acordo com PROSAB (1999), as quantidades de magnésio e enxofre presentes no lodo são suficientes para suprir as necessidades da maioria das culturas, mesmo quando aplicado em pequenas doses. O lodo também apresenta em sua

composição expressivas quantidades de micronutrientes como ferro, zinco e manganês, além de baixas quantidades de cobre, boro, molibdênio e cloro. Observa-se que doses de lodo suficientes para suprir as quantidades de nitrogênio para as culturas fornecem micronutrientes em quantidades adequadas para suprir a demanda da maioria das plantas (Gomes, 2004).

A concentração de metais pesados em lodos domésticos, como no lodo da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) utilizado neste trabalho, apresenta, geralmente, baixo potencial para contaminação do solo e da cadeia trófica por metais pesados. As quantidades de metais pesados tóxicos fornecidas ao solo e absorvidas pelas plantas em ensaios de casa de vegetação e de campo, quando utilizado o lodo da COMPESA (Nascimento et al., 2004; Gomes, 2004; Araújo & Nascimento, 2005) demonstraram que a aplicação deste resíduo é ambientalmente segura quando são seguidos os critérios agrônômicos adequados para sua utilização agrícola (United States, 1993).

Apesar da existência, no Brasil, de várias pesquisas através das quais se avalia a utilização de lodo de esgoto como fonte de nutrientes para plantas cultivadas, esses trabalhos são, em geral, restritos aos estados do Sul e Sudeste. Portanto, trabalhos que visem avaliar a viabilidade agrônômica e ambiental dos lodos produzidos em Pernambuco, são importantes para que se possa definir critérios técnicos para o aproveitamento agrícola deste resíduo como fertilizante para as condições do estado. Neste sentido, objetivou-se no presente trabalho, avaliar a produtividade, a composição mineral de plantas de milho e a dose de lodo para máxima eficiência agrônômica em solo tratado com diferentes doses de lodo de esgoto, da Companhia Pernambucana de Saneamento.

## 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 anaeróbico coletado de quatro leitos de secagem da ETE-Mangueira da COMPESA, em março de 2003. Amostras homogeneizadas do lodo foram retiradas e, após medição do volume, pesadas e colocadas para secar em estufa, por aproximadamente 72 h, sob temperatura de 65 °C. Depois de secas, as amostras foram pesadas para a determinação da umidade sendo, em seguida, destorroadas e trituradas em almofariz; enfim essas amostras foram submetidas à digestão sulfúrica e nítrico-perclórica, para sua caracterização química (Tabela 1).

O experimento se constituiu de um tratamento testemunha e cinco doses do lodo, totalizando seis tratamentos com quatro repetições, em delineamento experimental blocos ao acaso. As doses de lodo foram 0,0; 7,7; 15,4; 29,7; 45,1 e 60,5 t 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 CEFSPE (1998), considerando que apenas 50% do nitrogênio do lodo

**Tabela 1.** Características químicas e físicas da amostra de lodo de esgoto da Companhia Pernambucana de Saneamento (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>	4,7
K (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	2,03
Na (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	1,00
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>	15.820,0
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>	350,1
Cd (mg kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	3,1
Conteúdo de água (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	560,0
Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	0,5

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

estariam disponíveis para o primeiro ano de cultivo, como recomendado por Fernandes & Andreoli (1997).

O solo da área em que foi montado o experimento foi classificado como Argissolo Amarelo e caracterizado física e quimicamente (Tabela 2). O lodo foi incorporado ao solo a uma profundidade média de 20 cm. Após sete dias da incorporação, parcelas experimentais com dimensões de 4 x 5 m foram semeadas com a cultivar de milho Vencedor, em espaçamento 1 x 0,2 m, totalizando 100 plantas. Apenas as duas fileiras centrais de cada parcela experimental foram consideradas parcela útil e utilizadas para coleta dos dados.

Quando 50% das plantas atingiram o pendoamento, coletou-se o terço médio de dez folhas da base da espiga (fo-

**Tabela 2.** Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento

Característica	Valor
pH (água 1:2,5) <sup>1</sup>	6,0
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>	3,00
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,0
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
Pb (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	nd
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 Felippo & Ribeiro (1997); <sup>3</sup> Extraído por DTPA (Lindsay & Norvell, 1978); nd – não detectado

lha diagnose) dentro da parcela útil. Depois de lavadas, as folhas foram colocadas para secar em estufa a 65 °C, durante 72 h; após este período, as amostras foram trituradas em moinho tipo Wiley e acondicionadas para posterior análise.

Próximo à maturação fisiológica (noventa dias após o semeio), as espigas de dez plantas, dentro da parcela útil, foram coletadas aleatoriamente e os grãos, depois de secados em estufa a 65 °C, até atingir peso constante, foram pesados para a obtenção da massa seca. A produtividade foi estimada extrapolando-se os dados de massa seca da área ocupada pelas dez plantas (2 m<sup>2</sup>) para um hectare. As amostras da folha diagnose foram submetidas a digestão sulfúrica, para determinação de N e nítrico-perclórica, com vistas à determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Mn, conforme EMBRAPA (1999).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e de regressão; ajustaram-se equações para a produtividade e para os teores de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Mn, em função das doses de lodo aplicadas. A escolha dos modelos estatísticos para expressar o comportamento das características estudadas, seguiu os critérios de maior significância dos parâmetros e melhor coeficiente de determinação. Com a equação que apresentou o melhor ajuste para a produtividade em função das doses de lodo, determinou-se o ponto de máximo e a dose para a máxima eficiência agrônômica.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

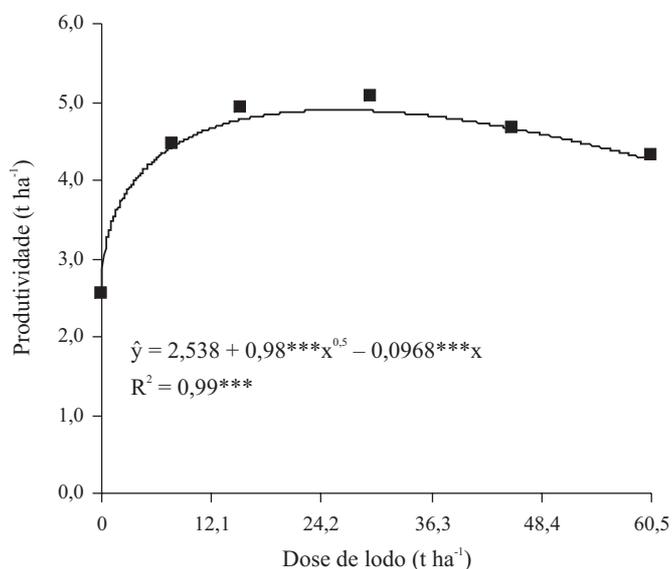
### Efeito de lodo na produtividade de milho (variedade Vencedor)

O modelo matemático que melhor expressou o comportamento da produtividade em função das diferentes doses de lodo de esgoto aplicadas ao solo foi  $\hat{y} = 2,538 + 0,9800***x^{0,5} - 0,0968***x$ ,  $R^2 = 0,9960***$ , em que  $w$  representa a produtividade de grãos de milho e  $x$  a dose de lodo aplicada, ambas em t ha<sup>-1</sup>. Com base neste ajuste, a dose de lodo para obtenção da máxima eficiência agrônômica foi de 26 t ha<sup>-1</sup> (base seca), que corresponde à produtividade de 6,1 t ha<sup>-1</sup> em massa seca de grãos. A boa produtividade do milho obtida para as condições desse estudo se deve principalmente aos altos teores de nutrientes deste resíduo, notadamente de N, Ca e Fe, que representam cerca de 2,5; 2,2 e 1,6% da matéria seca, respectivamente.

Silva et al. (2002) aplicando uma curva de resposta da produtividade de milho em relação a doses de lodo aplicadas em um Latossolo, determinaram a dose de 18,9 t ha<sup>-1</sup> para obtenção da máxima produtividade (6,3 t ha<sup>-1</sup> em massa seca de grãos). A diferença entre as doses recomendadas e as produtividades esperadas entre este e o presente ensaio, se deve principalmente à diferente composição química do lodo utilizado por Silva et al. (2002), que aplicaram, em média, na dose recomendada, 506,9 kg ha<sup>-1</sup> de N e 165,8 kg ha<sup>-1</sup> de P, correspondendo a cerca de 60 e 171,4% a mais de N e P, respectivamente, que o utilizado no presente ensaio. Além da composição química do lodo, outros fatores, como o potencial genético da variedade e a fertilidade do solo, contribuem para acentuar a diferença entre resultados de ensaios

para obtenção de curvas de resposta, uma vez que esses fatores determinam o modelo da curva e, conseqüentemente, a dose agrônômica e a produtividade esperada, fatos que corroboram com a necessidade de ensaios regionais para definição de critérios para aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas.

A aplicação de 7,7 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto promoveu forte incremento na produtividade (Figura 1), que corresponde a um aumento de 74,5% em relação à observada na área que não recebeu o lodo de esgoto. Este comportamento da curva de resposta é explicado pela lei dos incrementos decrescentes, proposta por Mitscherlich, a qual diz que a aplicação de doses crescentes de determinado nutriente ao solo, cuja produtividade da cultura seja limitada por ele, proporcionará o maior aumento de produção com a aplicação da primeira dose. Neste ensaio, o elemento que limitava a produtividade era, provavelmente, o N, uma vez que os níveis de K e P no solo antes da aplicação de lodo se encontravam em níveis alto e médio, respectivamente (CEFSPE, 1998).



**Figura 1.** Produtividade de milho em função de doses de lodo de esgoto aplicadas em Argissolo Amarelo; \*\*\* Significância a 0,1% pelos testes t (parâmetros) e F (regressão)

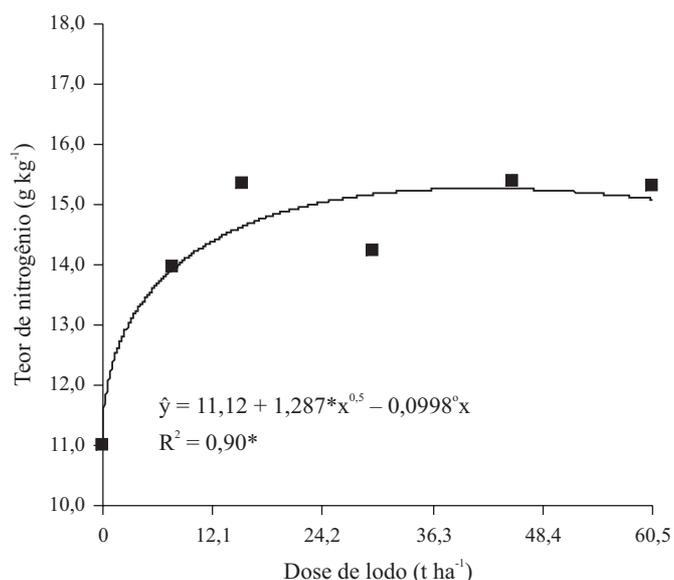
A partir da dose 26 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto, observa-se decréscimo da produtividade com o aumento das doses de lodo (Figura 1). Este comportamento em curvas de resposta pode ser explicado considerando-se que o nutriente que estava em deficiência passa a ficar em excesso com o aumento das doses, de tal forma a causar toxicidade à planta; entretanto, para o presente ensaio esta teoria não se aplicou, visto que tanto os teores de N como os dos demais nutrientes estudados nas plantas estiveram, em todos os tratamentos, dentro ou abaixo das faixas consideradas adequadas à nutrição do milho (EMBRAPA, 1999).

Na dose recomendada para obtenção da máxima produtividade (26 t ha<sup>-1</sup>) foram incorporados ao solo (considerando-se uma mineralização de 50% de N e P) 319,8; 61,1 e 52,8 kg ha<sup>-1</sup> de NPK, respectivamente. Esses resultados mostram que o lodo de esgoto pode substituir, ou complemen-

tar, a adubação mineral, sendo alternativa para baixar os custos de produção do milho em áreas produtoras próximas aos centros urbanos, uma vez que o custo deste resíduo é determinado, basicamente, pelo seu transporte. Silva et al. (2002), comparando a produtividade de milho entre tratamentos com lodo e com adubação mineral, verificaram não haver diferença significativa entre esses tratamentos, corroborando com os resultados observados por Favaretto (1997), os quais também não constataram haver diferenças significativas nas produtividades de milho adubado com fertilizante mineral e com lodo de esgoto; entretanto, em alguns casos a suplementação com fertilizantes minerais em solos adubados com lodo pode ser essencial para aumentos de produtividade (Anjos & Mattiazzi, 2000; Nascimento et al., 2004).

### Teor de nutrientes na folha

O aumento das doses de lodo proporcionou incrementos nos teores de N na folha (Figura 2), mostrando que a aplicação do resíduo aumentou a absorção deste nutriente pelas plantas. Resultado semelhante foi observado por Nascimento et al. (2004) para absorção de N por plantas de milho e feijão cultivadas em solos tratados com lodo de esgoto da COMPESA. Esses autores observaram aumentos significativos na concentração de N nas plantas, com o aumento das doses de lodo.



**Figura 2.** Teor de nitrogênio na folha diagnose em função de doses de lodo de esgoto aplicadas em Argissolo Amarelo; \*, ° Significância a 5 e 10%, respectivamente, pelos testes t (parâmetros) e F (regressão)

Embora a adição de lodo tenha aumentado a absorção de N, as quantidades absorvidas não foram suficientes para proporcionar nutrição adequada às plantas. Os valores médios de N estiveram, em todos os tratamentos, abaixo da faixa de 27 a 35 g kg<sup>-1</sup>, considerada adequada para a cultura do milho, segundo EMBRAPA (1999). Referidos resultados não eram esperados, visto que a menor dose de lodo (7,7 t ha<sup>-1</sup>), considerando-se que apenas 50% do N foram mineralizados (Fernandes & Andreoli, 1997), forneceu 94,7 kg ha<sup>-1</sup> de N,

que corresponde à quantidade de fertilizante recomendada pela CEFSPE (1998) para o cultivo de milho, nas condições de solo estudadas. Este comportamento de baixa absorção de N pelas plantas, quando adubadas com lodo, também foi verificado por Silva et al. (2002) que, aplicando doses de lodo de esgoto equivalentes a 6, 12 e 24 t ha<sup>-1</sup> em base seca encontraram, na folha de milho e ao final do terceiro ano de cultivo, 16,4, 22,6 e 29,3 g kg<sup>-1</sup> de N, respectivamente, estando os valores para as doses 6 e 12 t ha<sup>-1</sup>, abaixo da faixa adequada (EMBRAPA, 1999). Anjos & Mattiazzo (2000) relataram deficiência de N em plantas de milho, mesmo após aplicação de 388 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto. Os resultados verificados por esses autores e também observados no presente ensaio, indicam a necessidade de avanços no entendimento dos processos envolvidos na mineralização do N orgânico em solos adubados com lodo de esgoto.

O teor de cálcio na folha aumentou linearmente em função das doses de lodo aplicadas (Figura 3). Este aumento no teor de Ca na folha se deve sobretudo ao alto teor deste elemento no resíduo, que corresponde a 2,2% da matéria seca, sendo importante para solos que apresentam baixos teores deste elemento e, notadamente, relação Ca:Mg desfavorável, como apresentado pelo solo utilizado neste experimento (Tabela 2). O aumento no teor de Mg nas folhas, embora significativo (Figura 3), não foi tão acentuado quanto o observado para o Ca, como sugerido pelo baixo teor de Mg no resíduo (Tabela 1). As concentrações de Ca e Mg na dose para a máxima eficiência agrônômica, calculadas a partir das equações ajustadas, correspondem a 4,5 e 2,3 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, teores considerados adequados para a cultura (EMBRAPA 1999).

O teor de P não sofreu influência dos tratamentos com lodo (Tabela 3) e esteve abaixo dos teores adequados para a cultura (EMBRAPA, 1999), mas não se verificaram sintomas de deficiência deste elemento, em nenhum dos tratamentos.

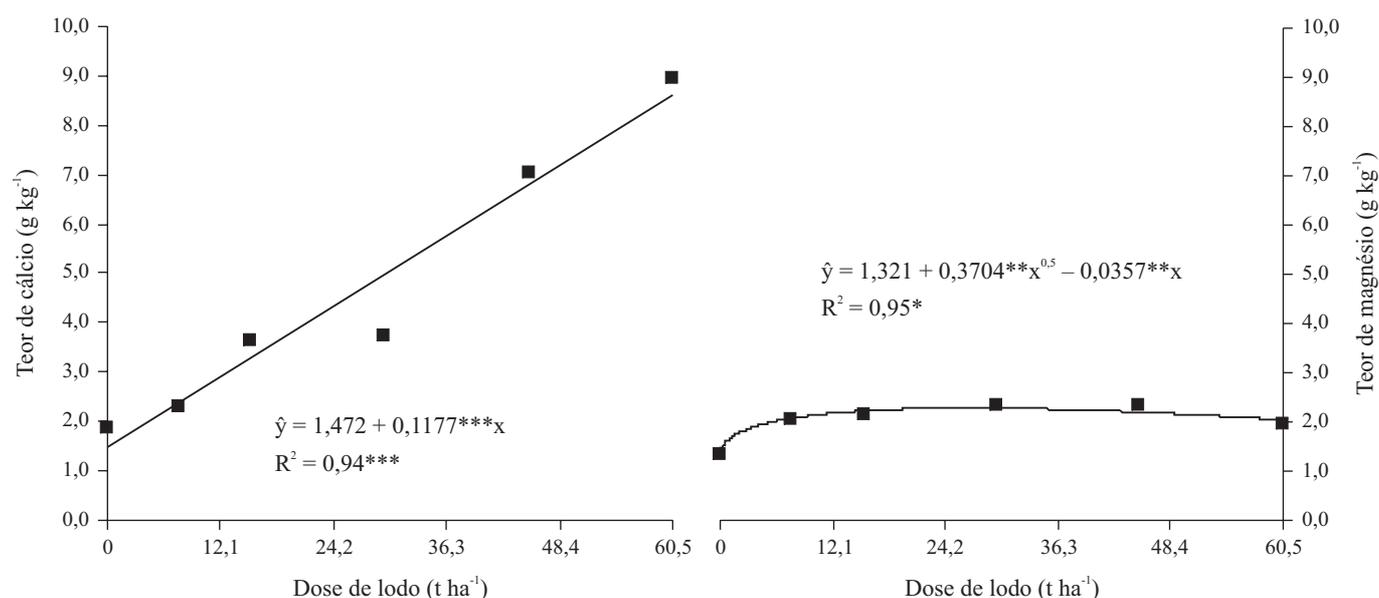
Apesar da ausência de resposta do teor de K às doses de

**Tabela 3.** Teores médios de nutrientes em folhas de milho cultivado em solo tratado com lodo de esgoto

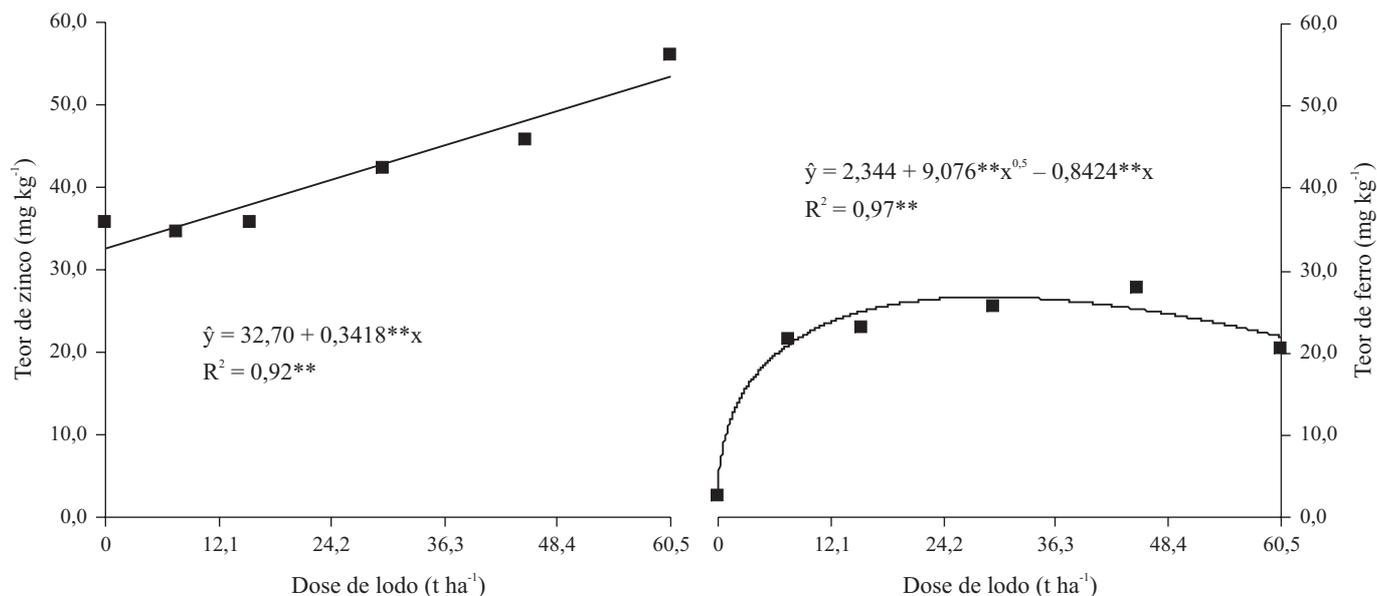
Dose de lodo t ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	
	P	K
0	0,54	17,80
7,7	0,53	17,16
15,4	0,45	14,87
29,7	0,51	16,51
45,1	0,53	15,27
60,5	0,50	18,59
Média	0,51	16,73
C.V. (%)	7,6	11,8

lodo, os teores médios deste nutriente na folha permaneceram sempre muito próximos dos teores considerados adequados (17 a 35 g kg<sup>-1</sup>) para a cultura do milho, conforme EMBRAPA (1999) em todos os tratamentos (Tabela 3). Ressalta-se, no entanto, que, de acordo com os critérios adotados pela CEFSPE (1998) o teor de K no solo, antes da aplicação de lodo, já era suficiente para o desenvolvimento da cultura.

O teor de zinco na folha aumentou significativamente com as doses de lodo aplicadas (Figura 4). Com base neste ajuste, na dose para a máxima eficiência agrônômica, o teor de Zn corresponde a 41,6 mg kg<sup>-1</sup>. Este valor se encontra dentro do intervalo de 15 a 100 mg kg<sup>-1</sup>, considerado adequado para a cultura (EMBRAPA, 1999). Resultado semelhante foi observado por Anjos & Mattiazzo (2000), que encontraram teores de Zn na folha diagnose de milho, de 33,4 mg kg<sup>-1</sup>, em um Latossolo Amarelo Distrófico, e 28,4 mg kg<sup>-1</sup> em um Latossolo Vermelho Distrófico, ambos repetidamente tratados com bio-sólido. O aumento no teor Zn se deve principalmente ao alto teor deste elemento no lodo (Tabela 1). Silva et al. (2002) e Martins et al. (2003) também verificaram aumentos no teor de Zn em folha de milho, após aplicação de doses de lodo de esgoto.



**Figura 3.** Teores de cálcio e magnésio em folhas de milho, em função de doses de lodo de esgoto aplicadas em Argissolo Amarelo; \*\*\*, \*\* e \* Significância a 0,1, 1 e 5%, respectivamente, pelos testes t (parâmetros) e F (regressão)



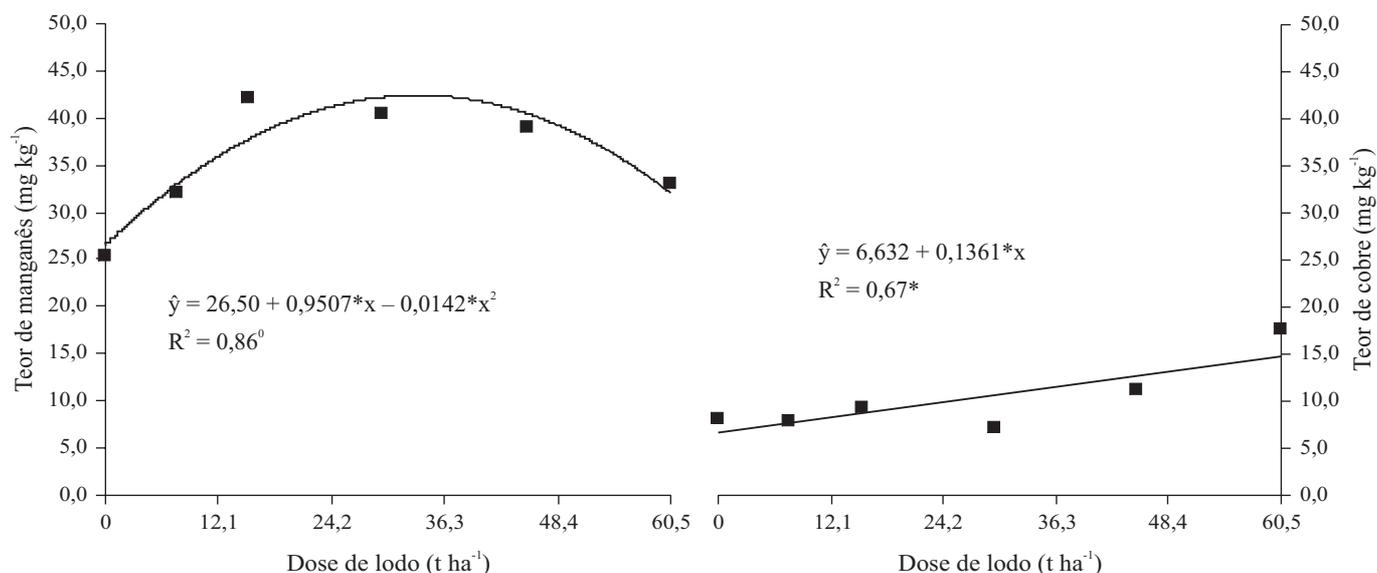
**Figura 4.** Teores de zinco e ferro em folhas de milho, em função de doses de lodo de esgoto aplicadas em Argissolo Amarelo; \*\* Significância a 1% pelos testes t (parâmetros) e F (regressão)

As doses de lodo aplicadas ao solo proporcionaram aumentos significativos na concentração de Fe nas folhas, notadamente com a aplicação da dose 7,7 t ha<sup>-1</sup> (Figura 4), o que indica baixa capacidade do solo em suprir o Fe necessário para a nutrição adequada da planta. Resultado semelhante foi encontrado por Silva et al. (2002) que obtiveram aumentos no teor de Fe com a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto. A resposta dos teores de Fe aos tratamentos com lodo, se deve ao alto teor deste elemento no resíduo, que corresponde a 1,6% da matéria seca; entretanto, em todos os tratamentos, os teores se encontram abaixo da faixa adequada para a cultura, segundo EMBRAPA (1999), mesmo se fornecendo 721,6 e 969 kg ha<sup>-1</sup> de Fe nos tratamentos 45,1 e 60,5 t ha<sup>-1</sup> de lodo. Este resultado indi-

ca que a maior parte do Fe presente no lodo se encontra em formas de baixa disponibilidade, tal como sugerido por Martins et al. (2003). Nascimento et al. (2004) também constataram baixa recuperação de Fe por plantas de milho e pelo extrator DTPA, em solos tratados com lodo da COMPESA.

As concentrações de Cu e Mn na folha também foram alteradas em consequência do aumento nas doses de lodo (Figura 5).

Embora o aumento nas doses de lodo tenha promovido incrementos nas concentrações de Mn e Cu na folha, estes não foram tão pronunciados quanto o apresentado para o Fe. Na dose para obtenção da máxima eficiência agrônômica (26 t ha<sup>-1</sup>), o incremento na concentração de Fe, em relação



**Figura 5.** Teores de manganês e cobre em folhas de milho, em função de doses de lodo de esgoto aplicadas em Argissolo Amarelo; \*, ° Significância a 5% e 10%, respectivamente, pelos testes t (parâmetros) e F (regressão)

ao tratamento sem adição de lodo, foi da ordem de 11,4 vezes, enquanto os incrementos para Mn e Cu foram apenas de 1,6 e 1,5 vezes, respectivamente. Deferidas diferenças se devem à baixa concentração desses elementos no lodo produzido pela COMPESA (Tabela 1).

### CONCLUSÕES

1. Ocorreu aumento significativo na produção de grãos, em função das doses de lodo de esgoto até a aplicação de 26 t ha<sup>-1</sup>, a qual proporcionou a máxima eficiência agrônômica para a produção de milho.

2. A dose de lodo de máxima eficiência agrônômica foi eficiente para elevar os teores de Ca, Mg, Cu, Mn e Zn nas folhas de milho a concentrações nutricionais adequadas.

3. Embora os teores de N, Mg e Fe na folha tenham aumentado em função das doses de lodo de esgoto, foram insuficientes para suprir a exigência nutricional das plantas.

4. Os teores de P e K nas folhas não foram alterados pelas doses de lodo de esgoto.

### LITERATURA CITADA

- Anjos, A. R. M. dos; Mattiazzi, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com biossólido. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.57, n. 4, p.769-776, 2000.
- Araújo, J. C. T. de; Nascimento, C. W. A. do. Redistribuição entre frações e teores disponíveis de zinco em solos incubados com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.29, n.4, p.635-644, 2005.
- Berton, R. S.; Camargo, O. A.; Valadares, J. M. A. S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.13, n.1, p.187-192, 1989.
- Berttiol, W.; Carvalho, P. C. T.; Franco, B. J. D. C. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. *O Solo*, v.75, n.1, p.44-45, 1983.
- Biscaia, R. C. M.; Miranda, G. M. Uso do lodo de esgoto calado na produção de milho. *Sanare*, Curitiba, v.5, n.1, p.86-89, 1996.
- Boeira, R. C.; Ligo, M. A. V.; Dynia, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, n.4, p.1639-1647, 2002.
- CEFSPE – Comissão Estadual de Fertilidade do Solo de Pernambuco. Recomendação de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª Aproximação. Recife: IPA, 1998. 198p.
- De Felippo, B. V.; Ribeiro, A. C. Análise química do solo (metodologia). 2.ed Viçosa: UFV, 1997. 26p.
- Deschamps, C.; Favaretto, N. Projeto interdisciplinar para o desenvolvimento de critérios sanitários, agrônômicos e ambientais para a implantação da reciclagem agrícola do lodo de esgoto. Curitiba: SANEPAR, 1997. p.56. Relatório Técnico
- Deschamps, C.; Favaretto, N. Aspectos agrônômicos. In: Andreoli, C. V.; Lara, A. I.; Fernandes, F. (Orgs.) Reciclagem de biossólidos: Transformando problemas em soluções. Curitiba: SANEPAR, FINEP, 1999. p.181-192.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.
- Favaretto, N. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento e produtividade do milho (*Zea mays* L.). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v.40, n.4, p.836-847, 1997.
- Fernandes, F.; Andreoli, C. V. Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no estado do Paraná. Curitiba: SANEPAR, 1997. 96p.
- Gomes, S. B. V. Utilização de lodo de esgoto como fertilizante para a cultura do milho: efeitos no solo e na planta. Recife: UFRPE, 2004. 54p. Dissertação Mestrado
- Kiehl, E. J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo: Agrônômica Ceres, 1985. 492p.
- Lindsay, W. L.; Norwell, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, manganese and copper. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.42, n.2, p.421-428, 1978.
- Martins, A. L. C.; Bataglia, O. C.; Camargo, O. A.; Cantarella H. Produção de grão 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*, Viçosa, v.27, n.3, p.563-574, 2003.
- Nascimento, C. W. A. do; Barros, D. A. S.; Melo, E. E. C. de; Oliveira, A. B. de. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, n.2, p.385-392, 2004.
- PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. 97p.
- Ross, C. A.; Aita, C.; Ceretta, C. A.; Fries, M. R. Utilização de lodo de esgoto como fertilizante: efeito imediato no milho e residual na associação de aveia + ervilhaca. In: *Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas*, 23, 1990, Santa Maria. Anais... Santa Maria: SBCS. 1990, p.20.
- 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*, Viçosa, v.26, n.2, p.487-495, 2002.
- United States – USEPA-United States Environmental Protection Agency. Title 40 CFR – Part 503. Final rules: Standards for the use or disposal of sewage sludge. *Federal Register*, Washington – DC, v.58, n.32, p.9387-9415, 1993.