

Equilíbrio de bases no solo e produção de matéria seca de milho (*Zea mays* L.) em solos tratados com lodo de esgoto, carbonato de cálcio e cal virgem

Graziela Moraes de Cesare Barbosa¹, João Tavares Filho^{2*}, Osmar Rodrigues Brito² e Inês Cristina de Batista Fonseca²

¹Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil. ²Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Cx. Postal 6001, 86051-990, Londrina, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: tavares@uel.br

RESUMO. O lodo de esgoto pode ter diferentes disposições finais, dentre os quais o uso agrônomico. Nesse caso, é necessário conhecer as características do lodo, do solo, da planta e suas interações, bem como o clima e o local a ser aplicado. Este trabalho teve o objetivo de verificar a influência do lodo de esgoto, com e sem adição de cal, no equilíbrio do solo e na produção de matéria seca do milho. O experimento foi conduzido em vasos e em ambiente de casa de vegetação, utilizando-se terra da camada superficial (0-15 cm) de dois solos: a primeira amostra (S1), com textura argilosa, foi coletada em um Latossolo Vermelho eutroférico sob plantio direto, e a segunda amostra (S2), com textura arenosa, foi coletada em um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagem. Utilizaram-se os seguintes tratamentos no solo S1: T1A – testemunha; T2A – 9 t ha⁻¹ lodo de esgoto; T3A – 18 t ha⁻¹ lodo de esgoto calcado (9 t ha⁻¹ de lodo de esgoto + 9 t ha⁻¹ de cal virgem); T4A – 9 t ha⁻¹ cal virgem; e para o solo S2: T1B – testemunha; T2B – 9 t ha⁻¹ lodo de esgoto; T3B – 18 t ha⁻¹ lodo de esgoto calcado (9 t ha⁻¹ de lodo de esgoto + 9 t ha⁻¹ de cal virgem); T4B – 9 t ha⁻¹ cal virgem; T5B – calagem recomendada. A produção de matéria seca de plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho, textura arenosa, aumentou com a aplicação de lodo de esgoto sem cal. A aplicação de lodo de esgoto calcado, nos dois solos, elevaram os teores de Mg e P (S1 e S2) e Na (S2). O aumento nos valores de pH poderá ser um fator limitante para a sua aplicação.

Palavras-chave: biossólidos, saturação de bases, calagem, lodo de esgoto.

ABSTRACT. Balance of basis in the soil and dry matter production in maize (*Zea mays* L.) in soils treated with sewage sludge, calcium carbonate and unslaked lime. Sewage sludge may have different uses, among which the agronomic use. In this case, it is necessary to know the characteristics of the sludge, the soil, the plant and its interactions, as well as the climate and the site where it will be applied. This work aimed at investigating the influence of sewage sludge, with or without addition of lime, in the balance of the soil and in the maize dry matter production. The experiment was carried out in pots under greenhouse conditions, utilizing two samples of soils, collected at a 0-15 cm deep layer: the first sample (S1), with clay texture, was collected from eutrophic Red Latosol in direct seeding, and the second sample (S2), with sand texture was collected from dystrophic Red Latosol. The following treatments were used in soil S1: T1A – control; T2A – 9 t ha⁻¹ sewage sludge; T3A – 18 t ha⁻¹ limed sewage sludge (9 t ha⁻¹ sewage sludge + 9 t ha⁻¹ unslaked lime); T4A – 9 t ha⁻¹ unslaked lime; and for soil S2: T1B – control; T2B – 9 t ha⁻¹ sewage sludge; T3B – 18 t ha⁻¹ limed sewage sludge (9 t ha⁻¹ sewage sludge + 9 t ha⁻¹ unslaked lime); T4B – 9 t ha⁻¹ unslaked lime; T5B – recommended liming. The maize dry matter shoot, cultivated at sandy dystrophic Red Latosol, increased with sewage sludge without lime. The application of limed sewage sludge increased the amounts of Mg and P (S1 e S2) and Na (S2). The increased pH contents may constitute a limiting factor for its application.

Key words: biosolid, basis saturation, liming, sewage sludge.

Introdução

Existem várias alternativas tecnicamente aceitáveis para o tratamento e disposição final do lodo de esgoto. A mais comum envolve a digestão

anaeróbia, que pode ser seguida pela destinação final na agricultura (Ferreira *et al.*, 1999). Para esse fim, é necessário um processo de desinfecção do lodo. Um desses processos é a calcinação do lodo, que consiste

na mistura de cal em proporções que variam de 30 a 50% do peso seco do lodo (Ilhenfeld *et al.*, 1999). Em contrapartida, o pH do solo restringe a dose de lodo caído a ser utilizado em áreas agrícolas em decorrência do alto poder corretivo, pois a cal contida no lodo promove uma mudança mais drástica e veloz no pH do solo que o calcário (Andreoli, 1999; Bottega e Nascimento, 1999).

A aplicação do lodo de esgoto no solo também proporciona aumento no teor de matéria orgânica (Bataglia *et al.*, 1983), e da CTC do solo (Kiehl, 1979; Melo *et al.*, 1994). A CTC é característica de cada tipo de solo e depende, principalmente, dos teores de argila e de matéria orgânica. A saturação de bases (V%) tem relação direta, principalmente, com os aumentos nos teores de Ca e Mg (Andreoli, 1999; Silva *et al.*, 1995).

O lodo de esgoto também promove alterações das propriedades físicas do solo, diminuindo sua densidade, aumentando a porosidade e capacidade de retenção de água, condicionando um melhor desenvolvimento das plantas (Jorge *et al.*, 1991; Marciano, 1999; Melo e Marques, 2000; Barbosa *et al.*, 2002).

Com a melhoria nas propriedades físico-químicas do solo, decorrente da aplicação do lodo de esgoto, é comum se verificar um aumento na produção de matéria seca na cultura do milho (Bettiol *et al.*, 1983; Berton *et al.*, 1989; Martins *et al.*, 2003) e na sua produtividade (Rappaport *et al.*, 1988; Biscaia e Miranda, 1996; Lourenço *et al.*, 1996).

Dentro desse contexto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de verificar o efeito da adição de doses de lodo de esgoto, com e sem adição de cal, no equilíbrio de bases do solo e na produção de matéria seca do milho, cultivado em casa de vegetação.

Material e métodos

O experimento foi realizado em vasos, em casa de vegetação devido ao controle ambiental, uma vez que foi utilizado lodo bruto, na Universidade Estadual de Londrina, Estado do Paraná. Utilizaram-se dois tipos de solos, coletados na camada de 0-15 cm de profundidade (em junho/2004). A primeira amostra (S1), apresentou textura argilosa (450, 280, 270 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente) e foi coletada em um Latossolo Vermelho eutroférico sob plantio direto, no município de Londrina, Estado do Paraná. A segunda amostra (S2) de textura arenosa (100, 80 e 820 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente) foi coletada em um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagem, no município de Jaguapitã, Estado do Paraná. O lodo de esgoto (base

seca) utilizado no experimento foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto da Sanepar, localizada em Londrina, Estado do Paraná, e apresentava as seguintes características: pH 3,1 (CaCl₂); N total 2,3%; P₂O₅ 1,4%; K₂O 0,0%; Ca 2,1%; Mg 0,6%; S 2%; M.O. 37,1%; C/N 8,7 e umidade residual de 7,8%. A cal utilizada para a desinfecção do lodo apresentava as seguintes características químicas: 40,60% de CaO; 29,48% de MgO, com potencial de neutralização (P.N.) determinado de 122%.

O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso, com 4 tratamentos e 5 repetições para o solo 1 (S1) e com 5 tratamentos e 4 repetições para o solo 2 (S2). Os vasos foram forrados com um plástico e preenchidos com 2,8 kg de solo, previamente passado em peneira de 2 mm. Foram testados os seguintes tratamentos: T1A – testemunha (solo argiloso); T2A – 9 t ha⁻¹ lodo de esgoto; T3A – 18 t ha⁻¹ lodo de esgoto caído (9 t ha⁻¹ de lodo de esgoto + 9 t ha⁻¹ de cal virgem); T4A – 9 t ha⁻¹ cal virgem; e T1B – testemunha (areia franca); T2B – 9 t ha⁻¹ lodo de esgoto; T3B – 18 t ha⁻¹ lodo de esgoto caído (9 t ha⁻¹ de lodo de esgoto + 9 t ha⁻¹ de cal virgem); T4B – 9 t ha⁻¹ cal virgem; T5B – calagem recomendada -1,43 t ha⁻¹ de CaCO₃ p.a. (Iapar, 2003). No solo argiloso não foi incluído o tratamento calagem por não haver necessidade (V > 60%, Tabela 1).

Tabela 1. Análise química do solo em Latossolo Vermelho eutroférico (S1), textura argilosa, e Latossolo Vermelho distrófico (S2), textura arenosa.

Solo	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	H+Al	P	M.O.	V
	CaCl ₂	cmol, dm ⁻³					mg dm ⁻³	g dm ⁻³	%	
S1										
textura argilosa	6,61	8,46	2,37	0,47	0,02	2,41	2,42	3,80	28,35	82,08
S2										
textura arenosa	5,72	1,24	0,41	0,15	0,02	2,00	2,03	9,59	8,48	46,91

As doses de lodo de esgoto foram calculadas em base seca e homogeneizadas ao volume de solo, juntamente com a cal e calcário, adicionados em alguns tratamentos.

Os vasos foram irrigados até atingirem a máxima capacidade de retenção e vedados, deixando-se uma cânula para trocas gasosas durante 100 dias (tempo de incubação). Após esse período, os vasos foram abertos e uma amostra de solo foi retirada para análises químicas (Embrapa, 1997). Em 16/6/2004 foi efetuada a semeadura de três sementes de milho em cada vaso (Pioneer – híbrido 3021), e após 15 dias da semeadura foi feito o desbaste, deixando-se uma planta por vaso, que foi cultivada até 60 dias após a semeadura. Durante

o desenvolvimento da cultura do milho, foram efetuadas as irrigações diárias para alcançar a capacidade máxima de retenção de água do solo (70%). Após 60 dias da semeadura, a parte aérea das plantas foi cortada e seca a 70°C em estufa de ventilação forçada, até obtenção de peso constante. Posteriormente, o material vegetal foi pesado para a estimativa da produção de matéria seca da parte aérea.

Os dados da análise química do solo e produção de matéria seca foram avaliados estatisticamente por meio da Análise de Variância complementada pelo teste de comparação de médias (Tukey) a 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

Os resultados das análises químicas do solo dos diferentes tratamentos, após período de incubação, são apresentados na Tabela 2. Para o Latossolo Vermelho eutroférico (S1 – argiloso), a adição do lodo calcado (T3A) proporcionou aumento no pH, Mg, Na e P em relação à testemunha. A aplicação de lodo sem cal (T2A) proporcionou aumento de P, Ca, Mg e Na. No tratamento com cal virgem (T4A) verificou-se aumento no pH, P, Na e Mg. Em todos os tratamentos houve redução nos teores de K em comparação à testemunha. Com relação ao H+Al, houve redução nos tratamentos que utilizaram a cal (T3A e T4A).

No Latossolo Vermelho distrófico (S2 – arenoso), a aplicação de lodo (T2B) proporcionou maiores teores de P e Na em relação à testemunha. No lodo calcado (T3B), ocorreu aumento do pH, P, Mg e Na. O tratamento com cal virgem (T4B) apresentou maior elevação no pH, aumento do P e Mg, enquanto que na calagem com CaCO₃ (T5B) aumentou pH e P. Os tratamentos que utilizaram a cal virgem (T3B e T4B) apresentaram valores reduzidos para os teores de H + Al.

A redução de Ca observada nos tratamentos T3 e T4, nos dois solos, pode ser atribuída à adição de

cal virgem de origem dolomítica, com alto teor de MgO (29,48%).

O aumento do pH nos dois solos estudados está diretamente relacionado com a adição de cal virgem aplicada ao lodo (T3) e ao solo (T4). Essa relação também explica o aumento, nos dois solos, da soma dos teores de Ca + Mg para os tratamentos com lodo calcado e cal virgem. Para esse parâmetro, há uma diferença nesses dois solos na capacidade tampão. O solo argiloso apresenta maior capacidade tampão, daí os menores efeitos negativos do lodo calcado. Avaliando os dois solos, verifica-se que, em função dos valores de pH apresentados na testemunha, nenhum dos dois deveria receber lodo calcado.

Os resultados da produção de matéria seca nos dois solos estudados, em função dos diferentes tratamentos, são apresentados na Tabela 3. A produção de matéria seca de milho cultivado em Latossolo Vermelho eutroférico (S1) foi superior quando utilizado somente o lodo de esgoto (T2A), não diferindo do lodo calcado (T3A) e testemunha (T1A), somente com diferença significativa em relação ao tratamento com a cal virgem (T4A). No Latossolo Vermelho distrófico (S2), a maior produção de matéria seca do milho também foi observada no tratamento com lodo de esgoto (T2B), diferindo dos demais tratamentos e testemunha.

Tabela 3. Produção de matéria seca da parte aérea de milho, após 60 dias da semeadura.

Tratamento	Matéria seca	
	g planta ⁻¹	
	Solo S1 (textura argilosa)	Solo S2 (textura areia franca)
T1 - Testemunha	0,63 ab ¹	0,87 b
T2 - Lodo de esgoto	0,97 a	1,87 a
T3 - Lodo calcado	0,54 ab	0,62 b
T4 - Cal virgem	0,48 b	0,43 bc
T5 - Calagem recomendada	-	0,65 b
CV %	36,45	20,89

¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey com 5% de probabilidade.

Tabela 2. Análise química do solo em Latossolo Vermelho eutroférico (S1), textura argilosa, e Latossolo Vermelho distrófico (S2), textura arenosa, após 100 dias de incubação em vasos (antes do cultivo).

Trat	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	H+Al	P	M.O.	V
	CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³					mg m ⁻³		g m ⁻³	%
Solo 1 textura argilosa										
T1 Testem.	6,71 b ¹	8,75 a	2,50 d	0,48 a	0,03 c	2,42 b	2,43 b	4,31 c	24,09 a	75,62c
T2 Lodo	6,39 b	8,68 a	2,71 c	0,39 b	0,04 b	2,95 a	2,97 a	7,29 b	20,97 a	79,83b
T3 Lodo+cal	8,19 a	5,90 b	4,41 a	0,33 c	0,04 b	1,25 c	1,25 c	9,23 a	18,47 a	89,52 a
T4 Cal	8,26 a	6,10 b	3,95 b	0,32 c	0,09 a	1,20 c	1,20 c	7,07 b	18,23 a	89,78 a
CV	0,84	4,12	2,91	5,48	4,43	7,21	7,68	7,51	9,74	0,95
Solo 2 textura areia franca										
T1 Testem.	5,01 d	1,43 ab	0,46 c	0,16 a	0,03 c	2,01 b	2,03 b	7,71 d	6,79 a	30,51 d
T2 Lodo	5,22 d	1,71 a	0,56 c	0,16 a	0,04 b	2,66 a	2,85 a	23,56bc	9,30 a	45,84 c
T3 Lodo+cal	8,75 b	1,25 b	3,42 a	0,19 a	0,09 a	0,96 d	0,96 d	37,21 a	7,54 a	83,68 a
T4 Cal	9,13 a	0,99 b	2,46 b	0,17 a	0,00d	0,89 d	0,89 d	25,53 b	7,04 a	80,13 a
T5 Calagem recomendada	7,46 c	1,74 a	0,24 c	0,19 a	0,00d	1,56 c	1,56 c	17,88 c	7,54 a	58,13 b
CV %	1,83	13,49	21,52	10,36	11,41	10,70	12,80	11,53	15,10	3,56

¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey com 5% de probabilidade.

A comparação dos resultados do Latossolo Vermelho distrófico (S2), apresentados nas Tabelas 2 e 3, sugere que, quando o pH supera o valor 8, verifica-se decréscimo da produção de matéria seca do milho. Isto indica que o aumento do pH representa um dos fatores que deve ser considerado como limitante da dose de lodo a ser aplicada quando o resíduo for higienizado com cal (Andreoli, 1999).

No Latossolo Vermelho eutroférico (S1), não houve diferença significativa nos teores de matéria orgânica, que pode estar relacionada com a decomposição do húmus do solo devido ao aumento da população microbiana, a qual produz enzimas que atacam a matéria orgânica nativa do solo, ocasionando perdas de carbono à atividade microbiana. Stevenson (1982) e Favaretto *et al.* (1997) observaram redução inicial nos teores de matéria orgânica no solo após aplicação do lodo de esgoto; no entanto comprovaram que sucessivas aplicações de lodo puderam recuperar e, inclusive, aumentar os teores de matéria orgânica do solo.

A produção de matéria seca da parte aérea do milho pode ser considerada baixa. Esse fato pode estar relacionado à época de desenvolvimento do experimento (inverno), devido às baixas temperaturas e aos teores de Ca, Mg, K e H que, conforme análise química, estarem desbalanceados no solo e, conseqüentemente influenciando na nutrição da planta de milho. O aumento na produção de matéria seca de milho em solos que receberam lodo de esgoto pôde ser observado por Bettiol *et al.* (1983), Berton *et al.* (1989), Favaretto *et al.* (1997), Andreoli (1999) e Martins *et al.* (2003).

No solo S1, os valores obtidos para a saturação por Mg estão muito altos em relação àqueles considerados adequados por McLean (1984), que é de 10%. Todavia, os valores para saturação de Ca e K estão abaixo dos valores considerados adequados pelo mesmo autor (65 e 5% para Ca e K, respectivamente), conforme apresentado na Tabela 4. A adição da cal virgem incrementou a saturação de Mg e, conseqüentemente, diminuiu a de K. A deficiência de P e K pôde ser observada nas folhas durante a condução do experimento. Malavolta (1980) encontrou inibição competitiva entre o Mg, Ca e K, em termos de absorção.

No solo S2, a aplicação do lodo caleado (T3B) e da cal virgem (T4B), aumentou ainda mais a saturação por Mg, criando um desequilíbrio nos cátions básicos do solo (Tabela 4) e, conseqüentemente apresentaram os menores valores de produção de matéria seca.

Tabela 4. Valores médios para CTC, saturação por Ca, Mg e K em Latossolo Vermelho eutroférico (S1) e Latossolo Vermelho distrófico (S2).

Tratamento	CTC cmol _c dm ⁻³	Saturação (%)		
		Ca	Mg	K
Solo 1				
T1 Testem.	14,16	61,8	17,7	3,4
T2 Lodo	14,75	58,8	18,4	2,6
T3 Lodo+cal	11,89	49,60	37,1	2,8
T4 Cal	11,57	52,70	34,1	2,8
Solo 2				
T1 Testem.	4,08	35,0	11,3	3,9
T2 Lodo	5,28	32,4	10,6	3,0
T3 Lodo+cal	5,82	21,5	58,8	3,3
T4 Cal	4,51	21,9	54,5	3,8
T5 Calagem recomendada	3,75	46,4	6,4	5,1

Arantes (1983), avaliando os efeitos de diferentes relações Ca:Mg (2:1; 5:1; 15:1; 45:1) em dois níveis de corretivo (40 e 60%) na produção de matéria seca, nas concentrações de K, Ca e Mg e no equilíbrio catiônico da parte aérea do milho, concluiu que a relação Ca:Mg de 5:1 estabelecida no nível de 60% forneceu a maior produção de matéria seca. Isso pôde ser verificado no trabalho de Oliveira (1993) que, estudando a relação Ca:Mg no solo, relata que variações de 1:1 a 12:1 não afetaram o rendimento de matéria seca do milho.

Key *et al.* (1962), avaliando a relação Ca:Mg (50:1 a 1:1) na cultura do milho, concluíram que os rendimentos da cultura não são afetados por qualquer relação desses cátions, mas quando a concentração de Mg excede a de Ca, os rendimentos caem bruscamente e as plantas exibem nítidos sintomas de deficiência de cálcio.

Büll e Nakagawa (1995) também avaliaram a aplicação de calcário em solos "naturalmente pobres" e observaram que a relação Ca:Mg (abaixo de 1,2:1) pode afetar, de forma negativa, a nutrição e crescimento das plantas. Lima *et al.* (1981) e Mengel e Kirkby (1987) assinalam que se o equilíbrio Ca:Mg não é adequado, há condições para a deficiência induzida de um dos nutrientes, como conseqüência de antagonismos na absorção. Munoz Hernandez e Silveira (1998) encontraram efeito significativo da relação Ca:Mg em solo com 50% de saturação por bases no rendimento de matéria seca de milho, enquanto Mostafa e Ulrich (1976) concluíram que a relação Ca:Mg pode ser limitante na nutrição de Ca para beterraba açucareira. Esses estudos indicam a importância da relação Ca:Mg do solo relacionado com o fornecimento desses nutrientes e a espécie cultivada.

A presença de quantidades mais elevadas de Ca e Mg pode também diminuir os teores de K trocável para certas culturas e, dessa maneira, solos com CTC mais elevada poderão necessitar de maiores

aplicações de K (Raij, 1991).

Vários autores (Oliveira *et al.*, 1995; Andreoli, 1999; Ilhenfeld *et al.*, 1999; Silva *et al.*, 2002) têm recomendado a complementação do K quando da utilização do lodo de esgoto, mas provavelmente essa necessidade deve estar relacionada com o desbalanço no solo dos cátions, pois nas duas amostras de solos estudadas neste experimento as testemunhas não apresentaram deficiência de K.

O estudo do equilíbrio de nutrientes no solo deve receber atenção especial quando da utilização do lodo calcado como adubo orgânico, principalmente em relação às concentrações de Ca, Mg, K e valores do pH inicial do solo.

Conclusão

A produção de matéria seca de plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico, textura arenosa, aumentou com a aplicação de lodo de esgoto sem cal.

A aplicação de lodo de esgoto calcado aumentou os teores de Mg e P (S1 e S2) e Na (S2).

A aplicação de lodo de esgoto calcado, por aumentar os valores de pH, poderá ser um fator limitante para a sua aplicação.

Referências

ARANTES, E.M. *Efeitos da relação Ca:Mg do corretivo e níveis de potássio na produção de matéria seca, concentrações de K, Ca:Mg e equilíbrio catiônico do milho (Zea mays L.)*. 1983. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1983.

ANDREOLI, C.V. *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema*. 1999. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e desenvolvimento)–Universidade Estadual do Paraná, Curitiba, 1999.

BARBOSA, G.M.C. *et al.* Avaliações de propriedades físicas de um latossolo vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. *Sanare*, Curitiba, v. 17, n. 17, p. 94-101, 2002.

BATAGLIA, O.C. *et al.* *Métodos de análise química de plantas*. Campinas: IAC, 1983. (Boletim Técnico, 78).

BERTON, R.S. *et al.* Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 187-192, 1989.

BETTIOL, W. *et al.* Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. *O Solo*, Piracicaba, v. 75, n. 1, p. 44-54, 1983.

BISCAIA, R.C.M.; MIRANDA, G. Uso do lodo de esgoto calado na produção de milho. *Sanare*, Curitiba, v. 5, n. 5, p. 86-89, 1996.

BOTTEGA, J.C.; NASCIMENTO, E.B. Utilização do lodo de esgoto em pequenas propriedades agrícolas. In: ANDREOLI, C.V. *et al.* (Org.). *Reciclagem de biossólidos:*

transformando problemas em soluções. Curitiba: Sanepar/Finep, 1999. cap. 4, p. 225-229.

BÜLL, L.T.; NAKAGAWA, J. Desenvolvimento, produção de bulbos e absorção de nutrientes na cultura do alho vernalizado em função de relações cálcio:magnésio no solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 19, n. 3, p. 409-415, 1995.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1997.

FAVARETTO, N. *et al.* Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento e produtividade de milho (*Zea mays L.*). *Braz. Arch. Biol. Technol.*, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 837-848, 1997.

FERREIRA, A.C. *et al.* Destino final do lodo. In: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Rio de Janeiro: ABES, 1999. cap. 2, p. 26-28.

IAPAR-Instituto Agrônomo do Paraná. *Sugestão de adubação e calagem para cultivares de interesse econômico no Estado do Paraná*. Londrina: Iapar, 2003. (Circular, 128).

ILHENFELD, R.G.K. *et al.* Uso do lodo em áreas de produção. In: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Rio de Janeiro: ABES, 1999. cap. 6, p. 64-75.

JORGE, J.A. *et al.* Condições físicas de um latossolo vermelho-escuro 4 anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 237-240, 1991.

KEY, J.L. *et al.* Influence of ratio of exchangeable calcium-magnesium on yield and composition of soybean and corn. *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, v. 93, p. 265-270, 1962.

KIEHL, J.C. *Manual de edafologia*. São Paulo: Ceres, 1979.

LIMA, J.A. *et al.* Efeitos das relações Ca/Mg e (Ca+Mg)/K na correção da acidez de dois latossolos e na produção de matéria seca do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill) cv. Kada. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 28, n. 156, p. 103-115, 1981.

LOURENÇO, R.S. *et al.* Efeito do lodo de esgoto na produtividade de milho e feijão no sistema de produção de bractinga. *Sanare*, Curitiba, v. 5, n. 5, p. 90-92, 1996.

MARCIANO, C.R. *Incorporação de resíduos urbanos e as propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo*. 1999. Tese (Doutorado)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

MARTINS, A.L.C. *et al.* Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solos adubados com lodo de esgoto, com e sem calcário. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 563-574, 2003.

MALAVOLTA, E. A avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E. (Ed.). *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Ceres, 1980. p. 219-251.

McLEAN, E.O. *Interpretação de análises de solos: diferentes conceitos na interpretação da análise de solo*. Campinas: Fundação Cargill, 1984.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de

- esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.). *Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. cap. 5, p. 109-141.
- MELO, W.J. et al. Efeito das doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 18, n. 3, p. 449-455, 1994.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. Bern: International Potash Institute, 1987.
- MOSTAFA, M.A.E.; ULRICH, A. Interaction of calcium and magnesium in nutrition of intact sugarbeets. *Soil Sci.*, Baltimore, v. 121, p. 16-20, 1976.
- MUNOZ HERNANDEZ, R.J.; SILVEIRA, R.I. Efeito da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral de milho (*Zea mays*, L.). *Sci. Agric.*, Piracicaba, v. 55, n. 1, p. 79-85, 1998.
- OLIVEIRA, F.C. et al. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. *Sci. Agric.*, Piracicaba, v. 52, n. 2, p. 360-367, 1995.
- OLIVEIRA, E.L. Rendimento de matéria seca e absorção de cálcio e magnésio pelo milho em função da relação cálcio/magnésio do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 17, n. 6, p. 383-388, 1993.
- RAPPAPORT, B.D. et al. Metal availability in sludge-amended soils with elevated metal levels. *J. Environ. Qual.*, Madison, v. 17, p. 42-47, 1988.
- RAIJ, B. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Potafós, 1991.
- SILVA, F.C. et al. Características agrotecnológicas, teores de nutrientes e de metais pesados em cana-de-açúcar (soqueira), cultivada em solo adubado com o lodo de esgoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. *Anais...* Viçosa: SBCS/UFV, 1995. p. 2279-2287.
- SILVA, J.E. et al. Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal: efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 487-495, 2002.
- STEVENSON, F.J. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. New York: J. Wiley and Sons, 1982.

Received on September 29, 2006.

Accepted on February 28, 2007.