

DIAGNOSE FOLIAR DA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE LODOS DE ESGOTO E RESÍDUOS INDUSTRIAIS SOB DIFERENTES DOSES EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Alessandra Elena Miggiolaro¹, João Arthur Antonangelo², Dirceu Maximino Fernandes¹, Leonardo Theodoro Büll¹ e Elisa Eni Freitag³

¹Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas - FCA, Departamento de Solos e Recursos Ambientais. CEP: 18610-307, Botucatu, SP. E-mail: almiggiolaro@fca.unesp.br

²Universidade de São Paulo – USP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Departamento de Ciência do Solo. Avenida Pádua Dias, nº 11, CEP: 13418-900, Piracicaba, SP. E-mail: joaoantonangelo@usp.br

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Campus Bom Jesus da Lapa. BR 349, Km 14 - Zona Rural, Bom Jesus da Lapa - Bahia, CEP: 47600-000. E-mail: elisa.freitag@lapa.ifbaiano.edu.br

*RESUMO: A aplicação de resíduos industriais e urbanos no solo pode ser recomendada pelo seu valor corretivo e fertilizante, conferindo à agricultura grande potencial para reutilização; melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e contribui para redução do consumo de fertilizantes e corretivos, sem contaminação por metais pesados. Este trabalho teve por objetivo avaliar a absorção de nutrientes e elementos potencialmente tóxicos, e seus efeitos sobre o desenvolvimento da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivadas sob Sistema Plantio Direto (SPD). O trabalho foi desenvolvido a campo, na Fazenda Experimental Lageado - FCA/UNESP, Botucatu (SP), em um Latossolo Vermelho distrófico. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 4x4+1, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro resíduos: dois lodos de esgoto, um centrifugado e tratado com cal virgem (LC) e um de biodigestor (LB) e dois resíduos industriais: escória de aciaria (E) e lama cal (Lcal), aplicados nas doses 0, 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹. A aplicação superficial dos resíduos LC, LB, Lcal e E em solo sob SPD favoreceu o desenvolvimento da cultura da soja, não havendo contaminação por metais pesados, atendendo a legislação vigente.*

PALAVRAS-CHAVE: Glycine max (L.) Merrill, lodo de Esgoto, escória de aciaria, atributos químicos, metais pesados.

LEAF DIAGNOSYS OF SOYBEAN CROP IN FUNCTION OF SURFACE APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE AND INDUSTRIAL WASTE UNDER DIFFERENT DOSES IN NO-TILLAGE SYSTEM

*ABSTRACT: The application of industrial and municipal waste in the soil may be recommended by your corrective and fertilizer value, giving the great potential for agricultural reuse, improves physical, chemical and biological soil properties and helps to reduce the consumption of fertilizers and correctives, without contamination by heavy metals. This study aimed to evaluate the absorption of nutrients and potentially toxic elements, and their effect on the development of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) grown under No-Tillage system (NT). The work was developed in the field, at the Experimental Farm Lageado - FCA / UNESP, Botucatu (SP) in an Oxisol under tropical climate of altitude. The experimental design was randomized blocks, factorial 4x4+1, with four replications. The treatments consisted of four residues: two sewage sludge, one centrifuged and treated with quicklime (LC) and a biodigester (LB) and two industrial wastes: steel slag (E) and lime mud (Lcal), applied in dosages of 0, 2, 4 and 8 Mg ha⁻¹. The surface application of LC, LB, Lcal and E residues in soil under NT favored the development of soybean, with no heavy metal contamination, given the current legislation.*

KEYWORDS: Glycine max (L.) Merrill, sewage sludge, steel slag, chemical attributes, heavy metals.

INTRODUÇÃO

A aplicação de resíduos urbanos e industriais no solo pode ser recomendada pela capacidade de fornecer nutrientes às plantas. Entretanto, torna-se necessário estudar as respostas das culturas, bem como a possível contaminação das plantas por metais pesados.

A crescente população dos centros urbanos é importante geradora de diversos resíduos sejam eles domésticos ou industriais, os quais muitas vezes, são acumulados no ambiente sem o adequado tratamento ou utilização, que possibilite sua reciclagem (Nascimento et al., 2004), tornando a disposição adequada destes, um dos principais desafios a ser enfrentado pelos gestores ambientais. A aplicação de resíduos urbanos e industriais no solo pode ser recomendada pelo valor corretivo e fertilizante que apresentam (Carvalho-Pupatto et al., 2003; Corrêa et al., 2005), bem como pela capacidade da macro e microbiota do solo em decompor os materiais orgânicos. Sendo necessário, entretanto, estudar as alterações nas propriedades do solo e a resposta das plantas para avaliar seu potencial fertilizante e a possível contaminação do ambiente por metais pesados (Ferreira et al., 2003). Dentre esses resíduos, pode-se destacar o lodo de esgoto, um resíduo resultante do tratamento das águas servidas, que apresenta potencialidades para utilização agrícola. Este resíduo contém considerável quantidade de matéria orgânica e de elementos, além de poder desempenhar importante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo (Nascimento et al., 2004), sendo uma das alternativas mais promissoras para a disposição destes (Berton et al., 1989). Além do mais, os lodos de esgoto são importantes fontes de nutrientes às plantas, principalmente de fósforo (Boareto et al., 1982; Villas Boas et al., 1984; Berton et al., 1989; Marques et al., 1993; Simonete et al., 1999; Corrêa, 2001; Melfi et al., 2001).

No entanto, a utilização de lodo de esgoto na agricultura não é isenta de problemas. A presença de metais pesados potencialmente tóxicos constitui uma das principais limitações ao uso do lodo na agricultura, pois podem expressar seu potencial poluente pela disponibilidade às plantas em níveis fitotóxicos (Elliot, 1986; Gibbs et al., 1997; Tan, 2000; Bettiol & Camargo, 2000). Porém, Oliveira & Mattiazzo (2001), avaliando a possibilidade de incrementos na absorção de Cd, Cr, Ni e Pb pelas plantas de cana-de-açúcar cultivada em Latossolo tratado com lodo, verificaram que estes elementos estiveram abaixo do limite de determinação do método analítico utilizado. Além disso, estudos com escória contendo Al, Ti, Pb, Cr, Ni, Ba, V, Cd, e Sr, mostraram que estes metais contidos no solo e nos corretivos não prejudicam a vida vegetativa das plantas e nem causam danos ao solo (Piau, 1995).

Dentre os resíduos industriais, que podem ser usados pela agricultura como corretivos de acidez e fertilizantes, têm-se a lama cal e a escória de aciaria (Corrêa, 2001; Silva et al., 2003).

Segundo Alcarde (1992), as escórias, resíduos gerados em siderurgia, também apresentam em sua composição constituintes neutralizantes (SiO_3^{2-}), tendo no solo a mesma reação do calcário, é fonte de silício, bases como cálcio e magnésio, ou seja, silicatos de cálcio e magnésio associados a compostos de ferro, alumínio e manganês (Prado et al., 2001), além de micronutrientes (Amaral et al., 1994), onde todos esses elementos podem ser absorvidos pelas plantas.

A adoção de sistemas conservacionistas, como o Plantio Direto, tem demonstrado reverter o processo de degradação química, física e biológica dos solos. Assim, a utilização de lodo de esgoto e resíduos industriais no Sistema Plantio Direto podem trazer benefícios ao ambiente radicular. Desse modo, ambas as práticas são capazes de proporcionar efeitos benéficos ao meio e, quando somadas, poderão melhorar seus efeitos tanto para o solo quanto ao ecossistema. Os resíduos como lodos de esgoto, lama cal e escória de aciaria apresentam, em suas composições, nutrientes essenciais às plantas, contribuindo dessa forma na redução de custos na agricultura e permitindo maior sustentabilidade e qualidade ambiental.

Buscando unir os benefícios entre o Sistema Plantio Direto e a aplicação de lodos de esgoto e resíduos industriais, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos decorrentes da segunda reaplicação dos resíduos urbanos e industriais sob sistema plantio direto em Latossolo Vermelho distrófico, após três meses da reação destes no solo. Foram avaliadas a absorção de nutrientes e metais pesados potencialmente tóxicos, e seus efeitos sobre o desenvolvimento da cultura da soja, em função da dose dos resíduos aplicados em superfície.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, no período de 2007 e 2008, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônomicas - FCA/ UNESP, localizada no município de Botucatu, SP, na latitude de $22^{\circ}51'15''\text{S}$, longitude de $48^{\circ}26'30''\text{W}$ e altitude de 740 m. O solo da área foi caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico - LVd (EMBRAPA, 1999) e o clima predominante na região é do tipo Cwa (clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso), segundo a classificação climática de Köppen. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso em esquema fatorial $4 \times 4 + 1$ com quatro repetições, onde cada parcela foi disposta de 6 m de largura e 7 m de comprimento. Os tratamentos foram constituídos por quatro resíduos, sendo dois urbanos, na forma de lodo de esgoto, um centrifugado com adição de cal virgem (CaO) proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto de Presidente Prudente, SP - LC e um de biodigestor com adição de polieletrólitos produzido pela ETE de Barueri, SP - LB, e dois resíduos industriais, a lama cal proveniente da empresa de celulose Ripasa, SP - Lcal e a escória de aciaria gerada na empresa Mannesmann, MG - E.

Os resíduos foram aplicados em quatro doses, correspondentes a 0, 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹, além de um tratamento adicional com a aplicação de calcário na dose de 2 Mg ha⁻¹. O presente experimento iniciou-se em maio de 2007, sendo finalizado em maio de 2008. Em maio de 2007 foi realizado o manejo da vegetação espontânea com a aplicação de 1,2 kg i.a. ha⁻¹ glifosato. Os resíduos e o calcário foram reaplicados manualmente a lanço sobre a superfície do solo em suas respectivas parcelas, antecedendo três meses a semeadura da cultura da soja. Também anteriormente a semeadura da cultura da soja foi realizada uma dessecação com a aplicação de 1,2 kg i.a. ha⁻¹ do herbicida a base de glifosato juntamente com 403 g i.a. ha⁻¹ de 2,4-D. A cultura da soja foi semeada em dezembro de 2007, como cultura de verão (ano agrícola 2007/2008) e conduzida de acordo com as recomendações técnicas. O cultivar utilizado foi a Embrapa 48, no espaçamento de 45 cm entre linhas e densidade de plantio de 22 sementes por metro linear, e como adubação de base foram aplicados 215 kg ha⁻¹ do fertilizante químico formulado 08-28-16. Para o tratamento das sementes foram utilizados inoculante a base de *Bradyrhizobium japonicum*, (Co + Mo) e fungicida Vitavax-Thiram (Carboxin + Thiran) nas doses recomendadas pelos fabricantes.

Durante a condução da cultura foi realizada a aplicação dos herbicidas de pós-emergência 600 g i.a ha⁻¹ Bentazona (Basagran) + 96 g i.a ha⁻¹ Lactofen (Cobra) para o controle de plantas de folhas largas e uma aplicação de 184 g i.a ha⁻¹ Setoxidim (Post) para controle de plantas de folha estreita. Durante a condução do experimento foram realizadas duas aplicações de 25 g i.a ha⁻¹ Epoxiconazole + 66,5 g i.a ha⁻¹ Piraclostrobina (Opera) como fungicida e três aplicações de 10 g i.a ha⁻¹ Deltametrina (keshet) como inseticida. A colheita da soja foi realizada em 10 de abril de 2008, 128 dias após a emergência, com colhedora mecânica de parcelas para experimento.

A coleta de folhas ocorreu no estágio de florescimento da soja (fevereiro/2008). A amostragem foliar ocorreu por meio da coleta da terceira ou a quarta folha, a partir do ápice da planta, o que corresponde a uma folha bem desenvolvida, sem deformações ou ataques de pragas e doenças, de 30 plantas por parcela, portanto 30 folhas, conforme cita (Malavolta et al., 1997). Em seguida, os materiais coletados foram lavados e secos em estufa de circulação de ar forçado à temperatura de 60 °C por 48 horas, moído e encaminhado para análise química no Laboratório de Plantas do departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo, onde foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997), além de Cd, Cr, Pb e Hg, possibilitando a avaliação de nutrientes e metais pesados potencialmente tóxicos absorvidos pelas plantas da soja.

Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão, sendo comparados a 1 e 5% pelo teste F. As médias dos tratamentos foram comparados por meio da aplicação do teste t (LSD) a 1 e 5% . Com relação ao tratamento adicional calcário, este e as doses dos resíduos, foram

comparados entre si pelo teste t (LSD) a 1 e 5%, sem levar em consideração a interação entre fatores. Para verificar a diferença entre os resíduos e o calcário foi realizada análise de contrastes ortogonais a 10% de probabilidade. Para a análise estatística dos resultados utilizou-se o programa estatístico Sisvar versão 4.3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de N foi influenciado pela aplicação dos resíduos, apresentando comportamento quadrático para os resíduos LB, LC, Lcal e E, sendo o maior teor (47 g kg^{-1}) observado com a aplicação de 4 Mg ha^{-1} do resíduo E (Tabela 1 e Figura 1). O menor teor de N (38 g kg^{-1}) foi observado na dose zero. O resíduo LB proporcionou o menor teor médio quando comparado ao calcário e aos resíduos LC, Lcal e E na dose 2 Mg ha^{-1} , sendo também observado o menor teor de N na dose de 8 Mg ha^{-1} para LB.

Tabela 1 - Teores foliares de N, P e K na cultura da soja, decorrentes da reaplicação superficial dos resíduos LB, LC, Lcal, E e Calcário (2 Mg ha^{-1}), sob Sistema Plantio Direto na safra 07/08. Botucatu, SP.

Dose Mg ha^{-1}	Resíduos			
	LB	LC	Lcal	E
	.....N (g Kg^{-1}).....			
0	38	38	38	38
2	41 b	45 a	46 a	46 a
4	45	45	45	47
8	42 b	46 a	44 ab	44 ab
Média	42 b	43 a	43 a	44 ab
Calcário	44			
	.....P (g Kg^{-1}).....			
0	2	2	2	2
2	2	2,5	2,3	2
4	2,3	2,5	2	2,3
8	2,3	2,8	2,3	2,3
Média	2,1 b	2,4 a	2,1 b	2,1 b
Calcário	2,1			
	.....K (g Kg^{-1}).....			
0	12	12	12	12
2	11	10	11	11
4	10	11	10	12
8	10	11	11	10
Média	11	11	11	11
Calcário	10			

LC= lodo de esgoto centrifugado com adição de cal virgem “calado” (ETE de Presidente Prudente, SP), LB= lodo de esgoto de biodigestor “digerido” (ETE de Barueri, SP), Lcal= lama cal, E= escória de aciaria. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha, não diferem estatisticamente a 1 e 5% pelo teste t (LSD).

De acordo com Raij et al. (1997), a faixa adequada para teor foliar de N na cultura da soja, incluindo folhas e pecíolo, é de 40 - 54 g kg⁻¹. Diante dos resultados obtidos em decorrência da aplicação superficial dos resíduos e do calcário, pode-se inferir que os teores de N estiveram dentro do limite considerado adequado (40 g kg⁻¹), exceto para o tratamento testemunha (dose zero), apresentando 38 g kg⁻¹.

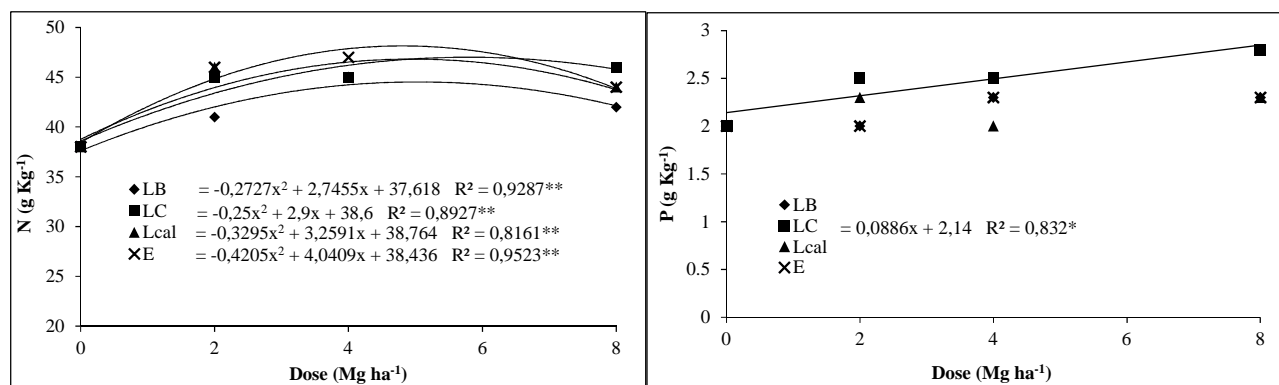


Figura 1 - Teores foliares de N e P na cultura da soja em função da aplicação dos resíduos LB, LC, Lcal e E, nas doses de 0, 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹ em Sistema Plantio Direto (2007).

Pode-se observar na que o teor de P foi pouco influenciado com a aplicação dos resíduos, apresentando teores entre 2,0 - 2,8 kg ha⁻¹, sendo o maior teor médio observado com a aplicação do resíduo LC (Tabela 1). Todos os tratamentos proporcionaram teores de P superiores ao obtido com a dose zero. O resíduo LC apresentou comportamento linear crescente (Figura 1).

De acordo com Raij et al. (1997), a faixa adequada para teor foliar de P na cultura da soja, incluindo folhas e pecíolo, é de 2,5 - 5,0 g kg⁻¹. Segundo os resultados obtidos com a aplicação superficial dos resíduos e do calcário, pode-se inferir que os teores de P estão abaixo da faixa considerada adequada para a cultura da soja, exceto para os tratamentos contendo o resíduo LC, que estão acima do limite mínimo para a cultura da soja, de 2,5 g kg⁻¹ de P e proposto por Raij et al. (1997). O lodo, além de ser fonte de P, apresenta elevado teor de matéria orgânica, podendo diminuir a adsorção do P no solo, além de fornecer íons orgânicos que competem com o fosfato pelos sítios de adsorção, aumentando a disponibilidade de P (Nascimento et al. 2004).

Os maiores teores de K (Tabela 1), foram observados com o tratamento testemunha (dose zero) e com a aplicação do resíduo E na dose de 4 Mg ha⁻¹. Para a cultura da soja, a faixa considerada adequada para teores foliares de K, segundo Raij et al. (1997), é de 17 - 25 g kg⁻¹. Assim, pode-se dizer que todos os tratamentos estão abaixo da faixa considerada adequada para a cultura da soja.

O maior teor do Ca (19 g Kg^{-1}) na planta foi observado com a aplicação de 4 Mg ha^{-1} e 8 Mg ha^{-1} do resíduo Lcal, e 8 Mg ha^{-1} do resíduo LC (Tabela 2). De acordo com os teores foliares adequados de Ca, para a soja, segundo por Raij et al. (1997), estão na faixa de $4 - 20 \text{ g kg}^{-1}$, sendo assim, observa-se que todos os tratamentos apresentam teores de Ca dentro da faixa considerada adequada para a cultura. Tem-se o efeito quadrático para os resíduos LB e Lcal e linear para LC (Figura 2) e E, e o menor teor de Ca foi observado na dose zero, sendo o maior valor médio proporcionado com a reaplicação do resíduo Lcal, na dose de 2 Mg ha^{-1} , e calcário.

Tabela 2 - Teores foliares de Ca, Mg e K na cultura da soja, decorrentes da reaplicação superficial dos resíduos LB, LC, Lcal, E e Calcário (2 Mg ha^{-1}), sob Sistema Plantio Direto na safra 07/08. Botucatu, SP.

Dose Mg ha^{-1}	Resíduos			
	LB	LC	Lcal	E
	.....Ca (g Kg^{-1}).....			
0	11	11	11	11
2	16	16	16	14
4	17 ab	16 b	19 a	16 b
8	14 b	19 a	19 a	18 a
Média	15 b	15 b	16 a	15 b
Calcário	16			
	.....Mg (g Kg^{-1}).....			
0	4,8	4,8	4,8	4,8
2	5,8	4,8	4,3	4,5
4	6,0 a	4,3 ab	3,8 b	3,8 b
8	5,8	4	4,5	4,8
Média	5,6 a	4,4 b	4,3 b	4,4 b
Calcário	5,7			
	.....S (g Kg^{-1}).....			
0	2	2	2	2
2	2,3	2,5	2,8	2,8
4	2,8 a	2,5 ab	2 b	2,5 ab
8	2,5	2,5	2,3	2,8
Média	2,4	2,4	2,3	2,5
Calcário	2,2			

LC= lodo de esgoto centrifugado com adição de cal virgem “calado” (ETE de Presidente Prudente, SP), LB= lodo de esgoto de biodigestor “digerido” (ETE de Barueri, SP), Lcal= lama cal, E= escória de aciaria. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha, não diferem estatisticamente a 1 e 5% pelo teste t (LSD).

Com relação ao Mg, observa-se pouco efeito significativo com a aplicação superficial dos resíduos LB, LC, Lcal e E (Tabela 2), porém os maiores teores de Mg foram observados com a reaplicação do resíduo LB. Todos os tratamentos, exceto LB e LC na dose de 2 Mg ha^{-1} e calcário, apresentaram teores de Mg inferiores a dose zero ($4,8 \text{ g kg}^{-1}$). Segundo Raij et al. (1997), estes

teores estão dentro da faixa dos teores considerados como adequados para a cultura da soja (3-10 g kg⁻¹). Os teores de S não apresentaram efeito significativo (Tabela 2), porém observa-se o maior teor (2,8 g kg⁻¹) com a reaplicação de 2 Mg ha⁻¹ dos resíduos Lcal e E, 4 Mg ha⁻¹ de LB e 8 Mg ha⁻¹ de E. Todos os tratamentos apresentaram teores de S superiores ao proporcionado pela dose zero. O maior teor médio foi observado com a reaplicação do resíduo E, o qual pode ser justificado pelo fato da escória conter alto teor de Mg em sua composição (2,70 mg kg⁻¹), favorecendo desta forma o teor deste nutriente no solo, e sua consequente absorção pela cultura da soja.

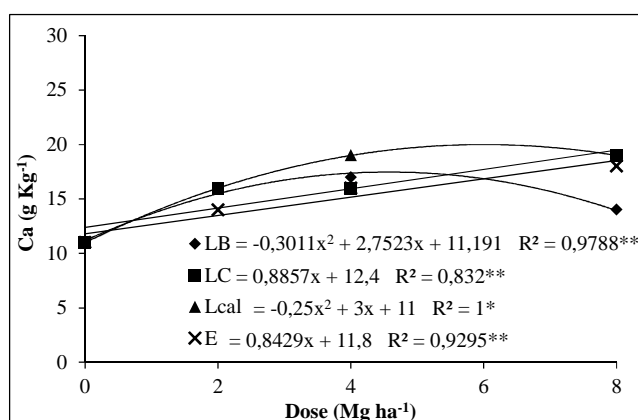


Figura 2 - Teor foliar de Ca em função da aplicação dos resíduos LB, LC, Lcal e E, nas doses de 0, 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹ em Sistema Plantio Direto (2007).

De acordo com Rajj et al. (1997), a faixa de teores adequados para S nas folhas da cultura da soja é de 2,1 – 4,0 g kg⁻¹. Assim, com base nos resultados presentes na Tabela 2, pode-se dizer que os teores de S encontram-se dentro da faixa considerada adequada, exceto para o tratamento testemunha (dose zero).

Segundo os teores de micronutrientes na cultura da soja, safra 07/08 (Tabela 3), pode-se observar que os nutrientes B e Cu não demonstraram efeito significativo. O maior teor de B foi observado com a reaplicação dos resíduos E nas doses de 2 Mg ha⁻¹ e 8 Mg ha⁻¹ e LC na dose de 2 Mg ha⁻¹ (Tabela 3). O tratamento calcário, dose 2 Mg ha⁻¹, apresentou teor médio de B igual ao proporcionado pela dose zero, sendo o menor teor de B observado com a reaplicação do resíduo Lcal na dose de 2 Mg ha⁻¹. Os teores de Cu não apresentaram efeito significativo para nenhum dos tratamentos, porém observam-se valores superiores à testemunha (9 mg kg⁻¹) para os resíduos LB, nas doses de 4 Mg ha⁻¹ e 8 Mg ha⁻¹ e para o resíduo E, na dose de 2 Mg ha⁻¹.

Nota-se comportamento quadrático para os resíduos LB, LC, Lcal e E com relação ao teor foliar de Fe na cultura da soja, sendo o maior teor (130 mg kg⁻¹) obtido com a reaplicação do resíduo LC na dose de 8 Mg ha⁻¹ (Figura 3). Todos os tratamentos demonstraram teores de Fe superiores aos proporcionados pela dose zero. De acordo com a Tabela 3, pode-se observar que a

reaplicação dos resíduos influenciou significativamente os teores foliares de Mn na cultura da soja, comportando-se de forma linear para o resíduo Lcal e quadrática para os resíduos LB e E (Figura 3). O maior teor (438 mg kg⁻¹) de Mn foi observado com a aplicação do resíduo LB na dose de 8 Mg ha⁻¹, sendo tal resíduo o apresentar teores superiores aos obtidos com a dose zero.

Estes resultados podem ser explicados pelo fato do lodo LB ter proporcionado menor elevação e correção do pH do solo em relação aos demais resíduos e a calagem, ou seja, o aumento do pH do solo reduz o teor foliar de Mn na cultura da soja. Estes resultados concordam com os resultados obtidos por Caires & Fonseca (2000), Caires et al. (2001), Caires et al. (2000) e Freitag (2008), onde observaram a redução do teor de Mn nas folhas da soja pela calagem, em decorrência da elevação do pH do solo. Assim como para o teor de Mn, Caires & Fonseca (2000); Caires et al. (2001); Caires et al. (2000) e Freitag (2008) relatam redução do teor de Zn na soja em decorrência da aplicação superficial do calcário em SPD devido ao aumento do pH nas camadas superficiais do solo.

De acordo com Rajj et al. (1997), a faixa de teores adequados nas folhas da cultura da soja estão entre 21 – 55 para o B, 10 – 30 para o Cu, 50 – 350 para o Fe, 20 – 100 para Mn e 20 – 50 g kg⁻¹ para o Zn. Com base nos resultados presentes na Tabela 3, pode-se dizer que, de uma maneira geral, os teores médios foliares de B e Fe encontram-se dentro da faixa considerada adequada, enquanto que os teores de Cu encontram-se abaixo, já os teores médios de Mn e Zn estão, de maneira geral, acima do considerado adequado para a cultura da soja (Figura 3), corroborando com Freitag (2008).

Tabela 3 - Teores foliares de B, Cu, Fe, Mn e Zn na cultura da soja, decorrentes da reaplicação superficial dos resíduos LB, LC, Lcal, E e Calcário (2 Mg ha⁻¹), sob Sistema Plantio Direto na safra 07/08. Botucatu, SP.

Dose Mg ha ⁻¹	Resíduos			
	LB	LC	Lcal	E
		.....B (mg Kg ⁻¹).....		
0	35	35	35	35
2	38 ab	39 a	34 b	39 a
4	37	36	36	38
8	37	36	37	39
Média	37	36	36	37
Regressão	ns	ns	ns	ns
Calcário		35		
		.....Cu (mg Kg ⁻¹).....		
0	9	9	9	9
2	9	9	9	10
4	10	9	9	9
8	10	9	9	8
Média	9	9	9	9
Regressão	ns	ns	ns	ns
Calcário		9		
		.....Fe (mg Kg ⁻¹).....		
0	89	89	89	89
2	118	122	118	113
4	117	116	126	124
8	122	130	119	116
Média	112	117	113	110
Regressão	Q*(¹)	Q*(²)	Q*(³)	Q*(⁴)
Calcário		115		
		.....Mn (mg Kg ⁻¹).....		
0	301	301	301	301
2	322 a	246 ab	192 b	206 b
4	255 ab	185 ab	264 a	149 b
8	438 a	213 b	138 b	174 b
Média	329 a	236 b	224 b	207 b
Regressão	Q*(⁵)	ns	L*(⁶)	Q*(⁷)
Calcário		198		
		.....Zn (mg Kg ⁻¹).....		
0	107	107	107	107
2	121 a	94 ab	72 b	85 b
4	136 a	96 b	60 c	62 c
8	274 a	63 b	60 b	64 b
Média	159 a	90 b	75 b	79 b
Regressão	Q*(⁸)	L*(⁹)	L*(¹⁰)	L*(¹¹)
Calcário		68		

LC= lodo de esgoto centrifugado com adição de cal virgem “calado” (ETE de Presidente Prudente, SP), LB= lodo de esgoto de biodigestor “digerido” (ETE de Barueri, SP), Lcal= lama cal, E= escória de aciaria. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha, não diferem estatisticamente a 1 e 5% pelo teste t (LSD).

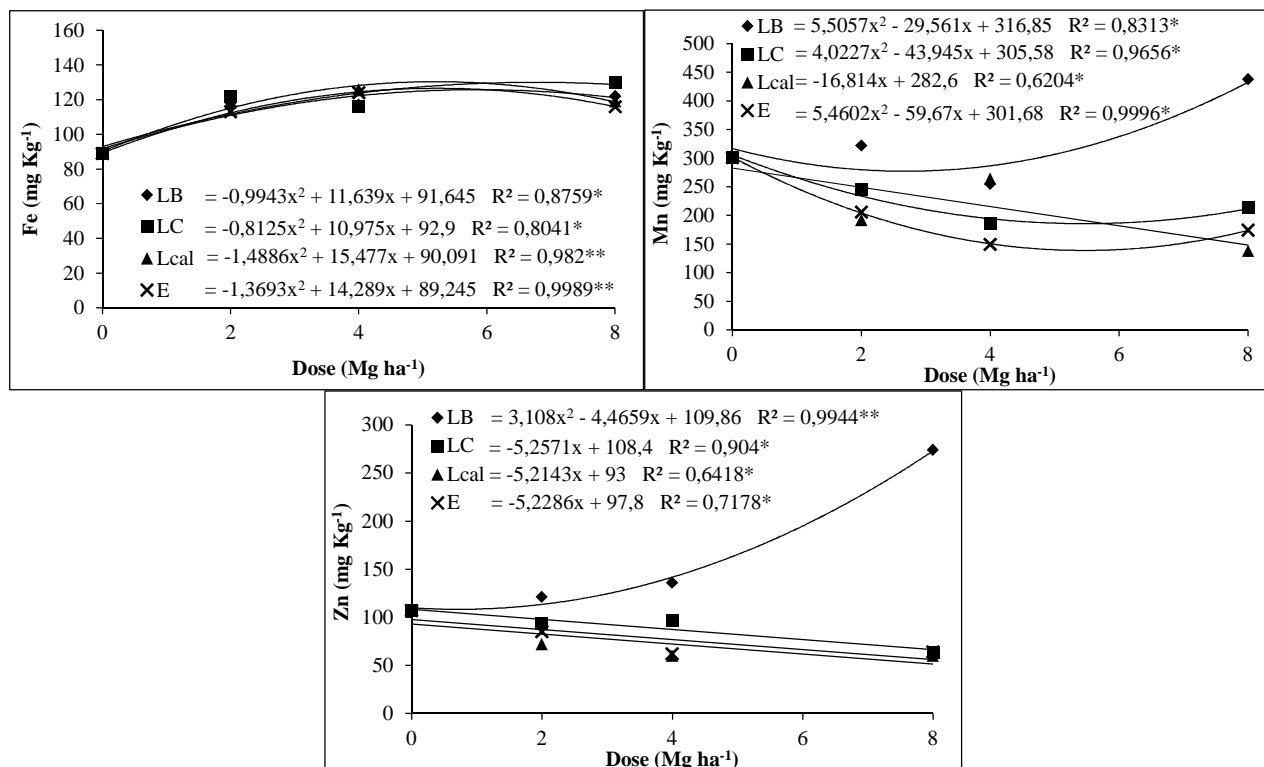


Figura 3 - Teores foliares de Fe, Mn e Zn em função da aplicação dos resíduos LB, LC, Lcal e E, nas doses de 0, 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹ em Sistema Plantio Direto (2007).

De acordo com os resultados para teores de metais pesados (Tabela 4), pode-se observar o maior teor médio de Cd com a reaplicação do resíduo LB, sendo o maior teor (317 μ L⁻¹) observado com a reaplicação do resíduo LB, na dose de 8 Mg ha⁻¹. Todos os tratamentos, exceto LB, apresentaram teores de metais pesados inferiores aos proporcionados pela dose zero.

O maior teor de Cr (948 μ L⁻¹) foi observado com a reaplicação do resíduo LB na dose de 8 Mg ha⁻¹, sendo que esse mesmo resíduo apresentou o menor teor (540 μ L⁻¹) foliar na dose de 2 Mg ha⁻¹. O resíduo Lcal apresentou o maior teor médio de Cr na cultura da soja. Todos os tratamentos, exceto LB na dose de 2 Mg ha⁻¹, apresentaram teores de Cr superiores ao tratamento testemunha. Ainda de acordo com a Tabela 4 observa-se o maior teor de Pb com a reaplicação de 8 Mg ha⁻¹ do resíduo LC. O resíduo E apresentou maior teor de Pb na dose de 2 Mg ha⁻¹, sendo o menor teor observado com a reaplicação do resíduo Lcal na dose de 8 Mg ha⁻¹. Notam-se maiores teores de Pb para a reaplicação dos resíduos quando comparado ao tratamento testemunha (181 μ L⁻¹).

Verifica-se ainda, na Figura 4, comportamento quadrático para o teor foliar de Cd na soja com a aplicação de LB; e, em relação ao teor de Pb, observam-se comportamento linear para LC e quadrática para Lcal.

Uma das grandes preocupações com a utilização de resíduos, sejam eles urbanos ou industriais, é a incorporação e acumulação de metais pesados no solo, contaminando os produtos agrícolas, entrando na cadeia alimentar, com riscos a saúde humana (Silva et al., 2002).

Os teores de mercúrio (Hg) apresentaram-se abaixo do limite de determinação para o método analítico empregado. Neste sentido, afirmar que não há a presença desse metal pesado no tecido foliar da soja, cultivada em solo com aplicação superficial de lodos de esgoto, lama cal e escória de aciaria, em diferentes doses, além do calcário na dose de 2 Mg ha^{-1} , é um tanto quanto inadequado.

Corrêa et al. (2008) e Freitag (2008), trabalhando na mesma área experimental e com os mesmos resíduos (LC, LB, Lcal e E), concluíram que a aplicação superficial destes em um Latossolo Vermelho distrófico sob SPD não traz problemas ao ambiente, quando se levam em consideração os metais pesados Cd, Cr, Hg e Pb. A aplicação dos resíduos LC, Lcal e E, além do calcário, proporcionou o aumento dos teores de pH no solo, e a adição de LB ainda contribuiu para o incremento de matéria orgânica e CTC, conferindo maior poder tampão ao LVd, o que provavelmente possibilitou maior adsorção dos metais pesados, reduzindo assim a possibilidade da absorção pela cultura da soja.

Segundo Amaral Sobrinho et al. (1994), os níveis de metais pesados nas plantas dependem de suas concentrações no solo e das propriedades químicas desse sistema. Ainda citam que tais níveis podem ser afetados por condições ambientais, nutricionais, estágio de desenvolvimento, além de outros fatores responsáveis pelo crescimento das plantas. Assim a concentração no vegetal torna-se insatisfatória para expressar perfeitamente o potencial de biodisponibilidade do metal pesado. Nem todos os órgãos das plantas possuem a mesma sensibilidade quanto à acumulação de metais pesados. Normalmente, a raiz é o órgão prioritário de entrada e acumulação dos metais pesados.

Tabela 4 - Teores foliares de metais pesados (Cd, Cr e Pb) na cultura da soja, decorrentes da reaplicação superficial dos resíduos LB, LC, Lcal, E e Calcário (2 Mg ha⁻¹), sob Sistema Plantio Direto na safra 07/08. Botucatu, SP.

Dose Mg ha ⁻¹	Resíduos			
	LB	LC	Lcal	E
	.....Cd (µg L ⁻¹).....			
0	89	89	89	89
2	85	62	43	35
4	97 a	68 b	51 b	29 b
8	317 a	54 b	31 b	32 b
Média	147 a	68 b	53 b	46 b
Regressão Calcário	Q** ⁽¹⁾	ns	ns	ns
	44			
	.....Cr (µg L ⁻¹).....			
0	605	605	605	605
2	540	704	805	640
4	761	661	922	707
8	948	719	830	625
Média	713	672	791	644
Regressão Calcário	ns	ns	ns	ns
	633			
	.....Pb (µg L ⁻¹).....			
0	181	181	181	181
2	207 b	230 ab	314 ab	337 a
4	285	341	319	270
8	211 b	408 a	182 a	236 b
Média	221 b	290 a	249 ab	256 ab
Regressão Calcário	ns	L** ⁽²⁾	Q* ⁽³⁾	ns
	192			

LC= lodo de esgoto centrifugado com adição de cal virgem “calado” (ETE de Presidente Prudente, SP), LB= lodo de esgoto de biodigestor “digerido” (ETE de Barueri, SP), Lcal= lama cal, E= escória de aciaria. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha, não diferem estatisticamente a 1 e 5% pelo teste t (LSD).

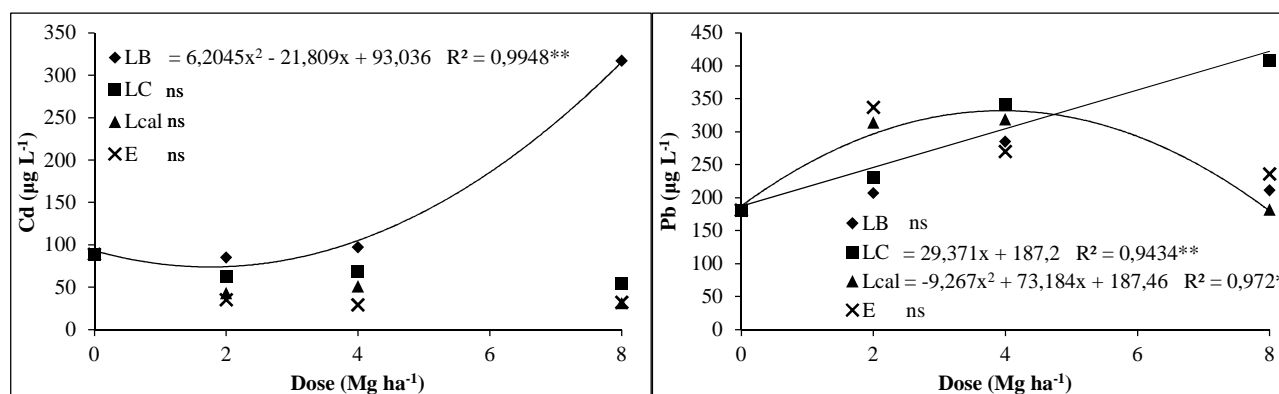


Figura 4. Teores foliares de metais pesados (Cd e Pb) em função da aplicação dos resíduos LB, LC, Lcal e E, nas doses de 0, 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹ em Sistema Plantio Direto (2007).

A concentração de metais pesados nas plantas não é aumentada pela frequência de aplicação dos biossólidos nos solos. Segundo Tsutiya (1999), observou-se que as concentrações de metais pesados nas plantas são maiores em solos sem o uso do biossólido, pois o seu uso reduz a disponibilidade desses metais às plantas, já que se tornam mais estáveis em solos com pH maior que 6,5 e, nessas condições, verifica-se redução da disponibilidade às plantas. A adição de cal no solo, para aumentar o pH, é uma prática recomendada por diversos autores.

Com base na legislação imposta por órgãos como a CETESB (1999) e o CONAMA (2006), que regulamentam pela utilização agrícola de lodos de esgoto, sendo tais parâmetros também considerados para a lama e para a escória de aciaria, percebe-se que em todos os resíduos aplicados os teores de metais pesados estavam abaixo dos limites máximos permitidos para lodos de esgoto.

CONCLUSÕES

1. Os resíduos promoveram adequados teores de nutrientes foliares para a cultura da soja.
2. A aplicação dos resíduos não proporcionou fitotoxicidade à cultura da soja por não promover teores foliares expressivos de metais pesados potencialmente tóxicos.

REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações**. São Paulo: ANDA, 1992. (Boletim técnico, 6).
- AMARAL, A.S. et al. Liberação de Zn, Fe, Mn e Cd de quatro corretivos da acidez e absorção por alface em dois solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.29, p.1351-1358, 1994.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B. et al. Formas químicas de zinco e sua absorção por plantas de milho cultivadas em solo tratado com resíduo siderúrgico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, n.18, p.313-320, 1994.
- BERTON, R.S.; CAMARGO, A.O.; 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, SP, v.13, p.187-192, 1989.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 312p.
- BOARETTO, A.E.; NAKAGAWA, J. **Utilização de lodo de esgoto como fertilizante para a cultura do milho**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1982. 14p. (Relatório técnico).
- CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A.; FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, p.161-169, 2000.
- CAIRES, E.F.; FELDHaus, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, Campinas, SP, v.3, p.213-223, 2001.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função de calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, SP, v.59, n.2, p.213-220, 2000.

CARVALHO-PUPATTO, J.G. et al. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.38, p.1323-1328, 2003.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projetos e operação**. São Paulo, 1999. 32p. (Manual técnico. Norma P4230).

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências, 2006, 32p.

CORRÊA, J.C. et al. Disponibilidade de metais pesados em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.43, n.3, p.411-419, 2008.

CORRÊA, J.C. **Aplicação de escória, lama cal e lodo de esgoto na superfície do solo sob sistema de plantio direto**. 2005. 167p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

CORRÊA, J.C. **Utilização de resíduos industriais e urbanos na composição de substratos para mudas de café**. 2001. 198p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

ELLIOT, H.A. Land application of municipal sewage sludge. **Journal Soil Water Conservation**, v.41, p.5-10, 1986.

EMPRESA BRASILEIRA DE PEAQUISA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1999/2000**. Londrina, 1999. 236p. (Documentos, 131).

FERREIRA, A.S. et al. alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de cortume e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, p.755-763, 2003.

FREITAG, E.E. **Escória de aciaria, lama cal e lodos de esgotos no cultivo da soja sob sistema plantio direto**. 2008. 278p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

GIBBS, R.A. et al. Regrowth of faecal coliforms and salmonellae in stored biosolids and soil amended with biosolids. **Water Science Technology**, v.35, p.269-275, 1997.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.

MARQUES, M.O. et al. Aproveitamento do lodo de esgoto como adubo em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia, GO. **Resumos...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. v.3, p.251-252.

MELFI, A.J.; MONTES, C.R. Impacto dos biossólidos sobre o solo. In: TSUTIYA, M.T. et al. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. 468p.

NASCIMENTO, C.W.A. et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após a aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p. 385-392, 2004.

PIAU, W.C. **Efeitos de escórias de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 1995. 124 f. Tese (Doutorado em Ciências/Energia Nuclear na Agricultura)– Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em Latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.3, p.171-180, 2001.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo: estudos na cultura da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Fundação de Estudos e Pesquisas em Medicina Veterinária, Agronomia e Zootecnia, 2001. 67p.

SILVA, J.; MELLO, J.W.V.; CORRÊA, M.L.T. Uso de uma escória de aciaria como fonte de fertilizante fosfatado e zinco para uso agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, SP:SBCS, 2003. CD-ROM.

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, MG, v.26, n.2, p.487-495, 2002.

RAIJ, B. van. et al. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, n.100, 1997. 285p. 2.ed rev. atual.

SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C.; PLESE, L.P.M. Efeito do lodo de esgoto nas propriedades químicas de um solo podzólico vermelho-amarelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 1 CD-ROM.

TAN, K.H. **Environmental soil science**. 2nd ed. Nova York: Marcel Dekker, 2000. 480 p.

TSUTIYA, M.T. Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamentos de esgotos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1999. p.753-761.

VILLAS BÔAS, R.L.; BÜLL, L.T.; BOARETTO, A.E. Estudo da disponibilidade de fósforo do lodo de esgoto aplicado ao solo. In: Congresso Brasileiro de Iniciação Científica em Ciências Agrárias, 4., 1984, Taubaté, SP. **Anais**. Taubaté: Universidade de Taubaté, 1984. p.93.

Recebido para publicação em: 25/03/2014

Aceito para publicação em: 04/06/2014