



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Lemainski, Jorge; Silva, José Eurípedes da
Utilização do biossólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 30, núm. 4, agosto, 2006, pp. 741-750
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214057015>

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

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

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

SEÇÃO IX - POLUIÇÃO DO SOLO E QUALIDADE AMBIENTAL

UTILIZAÇÃO DO BIOSSÓLIDO DA CAESB NA PRODUÇÃO DE MILHO NO DISTRITO FEDERAL⁽¹⁾

Jorge Lemainski⁽²⁾ & José Eurípedes da Silva⁽³⁾

RESUMO

A disposição final dos resíduos das estações de tratamento de esgotos é uma crescente preocupação mundial, com reflexos na disponibilidade e na qualidade da água para consumo e atividades econômicas. A Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) processa 400 toneladas diárias de bissolido, resíduo rico em nutrientes e matéria orgânica. Embora ainda sem parâmetros agronômicos para seu aproveitamento, o material é demandado para cultivos de grãos, pastagens, fruteiras, café, etc. O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta do milho à aplicação de bissolido úmido (teor de água 900 g kg⁻¹) nas doses de 0, 7,5, 15, 30 e 45 t ha⁻¹ em comparação a fertilizante mineral aplicado em quantidades equivalentes de N, P₂O₅ e K₂O. O experimento foi realizado na Embrapa Cerrados, num Latossolo Vermelho distrófico argiloso em dois cultivos. Bissolido e fertilizante mineral foram aplicados apenas antes do primeiro cultivo. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com três repetições. No primeiro e no segundo cultivo, respectivamente, as produtividades de 7,41 e 5,70 t ha⁻¹ de grãos, obtidas na dose de 30 t ha⁻¹ de bissolido úmido, bem como as de 7,38 e 5,88 t ha⁻¹ de grãos, obtidas na dose de 45 t ha⁻¹, foram todas superiores à produtividade média nacional da cultura de milho e evidenciaram os efeitos (imediato e residual) do bissolido como fertilizante. A produtividade máxima estimada de milho (6,84 t ha⁻¹) foi obtida na dose de 37,8 t ha⁻¹. A melhor relação benefício-custo (1,90) foi obtida na dose de 30 t ha⁻¹. O bissolido foi, em média, 21 % mais eficiente do que o fertilizante mineral. Os resultados revelam a oportunidade de aproveitamento do bissolido da CAESB como fertilizante na produção de milho no Distrito Federal.

Termos de indexação: água, lodo de esgoto, nutrientes, fertilizante orgânico.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, defendida na Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UNB. Recebido para publicação em agosto de 2003 e aprovado em maio de 2006.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, M.Sc. Embrapa Cerrados. BR 020, Km 18, Rodovia Brasília/Fortaleza, Caixa Postal 08223, CEP 73301-970 - Planaltina (DF). E-mail: jlemainski@hotmail.com

⁽³⁾ Engenheiro-Agrônomo, PhD, Embrapa, Parque Estação Biológica, PqEB Edifício Sede, s/n, Plano Piloto CEP 70770-901, Brasília (DF). E-mail: joesilva@sede.embrapa.br

SUMMARY: USE OF BIOSOLIDS FOR CORN (*Zea mays, L.*) PRODUCTION IN THE FEDERAL DISTRICT

*The final disposal of sewage sludge is a growing concern worldwide as it has impacts on the water availability and quality for consumption, and economic activities. The Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) processes 400 t of biosolids a day that is rich in mineral nutrients and organic matter. Despite the lack of local agronomic criteria for use, biosolids has found a growing demand in grain, fruit crops, coffee and pastures cultivation. To evaluate the immediate (first year) and residual (second year) effects on corn production, humid biosolids (water content 900 g kg⁻¹) was applied onto a dystrophic clayey Red Latosol at rates of 7.5, 15, 30, and 45 t ha⁻¹ and compared to a mineral fertilizer mixture applied in equivalent N, P₂O₅ and K₂O amounts. Both biosolids and mineral fertilizer were applied once before the first crop. A random block design was used with three replications. Corn yields in the first and second crops seasons amounted to, respectively, 7.41 and 5.70 t ha⁻¹ of grains (at the rate of 30 t ha⁻¹ of biosolids) and 7.38 and 5.88 t ha⁻¹ (at the rate of 45 t ha⁻¹). All grain yields were higher than average Brazilian standards for corn and showed the immediate and residual effects of biosolids as fertilizer. Based on the second degree equation adjusted to average data: Y = 768.24** + 320.56**x - 4.2335**x², R² = 0.9995 (Y, yield and x, biosolids rate), the estimated maximum corn productivity (6.84 t ha⁻¹) would be obtained at a rate of 37.8 t ha⁻¹. The best cost-benefit ratio (1.90, average of two growing seasons) was obtained with the application of 30 t ha⁻¹. The biosolids were on average 21 % more efficient than mineral fertilizers. Results indicate that the CAESB biosolids have a good potential to be used as fertilizer for corn production in the Federal District.*

Index terms: water, sewage sludge, nutrients, fertilizer.

INTRODUÇÃO

A disposição final dos resíduos das estações de tratamento de esgotos é uma crescente preocupação mundial, com reflexos na disponibilidade e na qualidade da água para consumo humano e animal e nas atividades econômicas. O biossélio é um produto orgânico do sistema de tratamento de esgotos, rico em matéria orgânica e nutrientes, em especial o N o P, com potencial para aproveitamento agrícola, isolado ou em combinação com adubos minerais.

Os Estados Unidos e a Europa produzem, respectivamente, cerca de 13 milhões de toneladas e 7 milhões de toneladas de biossélios, base seca, por ano, com rotas respectivas de disposição final em aterros (41 e 42 %), uso agrícola (25 e 36 %), incineração (16 e 11 %), disposição oceânica (6 e 5 %) e outras formas, como reflorestamento e recomposição de áreas degradadas, em 12 e 6 % (Tsutiyama, 2001). O Brasil produz entre 150 mil e 220 mil toneladas de biossélio, base seca, por ano, com perspectiva de expressivo aumento de processamento nesta década (Andreoli & Pinto, 2001).

Dentre as alternativas de disposição final de biossélios, a oceânica (emissários submarinos) foi proibida a partir de 1999, mediante acordo internacional homologado pela maioria dos países membros das Nações Unidas (Luduvice, 2000); os aterros sanitários apresentam restrições de ordem ambiental e econômica (PROSAB, 1999; Luduvice,

2000); a incineração tem elevado custo por tonelada tratada, além de problemas secundários de poluição atmosférica e de destinação final das cinzas (Ferreira et al., 1999); entretanto, é bastante prática e pode ser aplicada em algumas situações nos grandes centros urbanos (PROSAB, 1999); a reciclagem agrícola apresenta-se como a alternativa mais promissora, pois transforma um resíduo em importante insumo agrícola, contribuindo para o fechamento do ciclo dos nutrientes minerais e para a redução do efeito estufa (PROSAB, 1999; SANEPAR, 1999; Andreoli & Pegorini, 2000).

No Distrito Federal 88% da população de 2,3 milhões de habitantes é atendida pelo sistema de coleta de esgotos; o índice de coleta é de 71,8 % e, do esgoto coletado, 75,4 % é tratado, gerando aproximadamente 400 toneladas diárias de biossélio (PMSS, 2005). O biossélio produzido nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) da CAESB, de origem eminentemente doméstica, apresenta baixa concentração de metais pesados, com valores bem abaixo dos limites preconizados pelas normas americanas e europeias (Luduvice, 2000; Silva et al., 2002b). Apesar de estabilizado biologicamente o material não é esterilizado, o que exige cuidados no seu manuseio e utilização; do ponto de vista sanitário, o biossélio da CAESB atende aos requisitos de lodo Classe B da norma americana, estando apto para ser usado, com restrições, na agricultura (Luduvice, 2000) e nos limites previstos pela legislação brasileira.

A área agrícola do Distrito Federal é de 163,0 mil hectares em lavouras e pastagens (IBGE, 2003a), sendo 34,8 mil hectares cultivados com soja e 28,5 mil hectares com milho (IBGE, 2003b). Grande parte desta área tem aptidão (relevo plano, solos profundos e bem drenados) para reciclagem dos resíduos orgânicos urbanos (Fernandes et al., 2001), com ganhos na produção agropecuária e redução da pressão poluidora sobre os recursos hídricos.

Apesar da carência de critérios locais para uso agronômico, existe, segundo Luduvice (2000), uma demanda do biossólido da CAESB pelo setor agrícola para produção de grãos, pastagens, fruteiras e café.

O biossólido, por ser um resíduo que contém teores elevados de matéria orgânica e de outros nutrientes, principalmente o N e o P, pode melhorar as propriedades físicas e as características químicas e biológicas do solo, o que possibilita seu aproveitamento na agricultura como fornecedor de nutrientes e elementos benéficos ao desenvolvimento e produção das plantas (Melo et al., 2001).

Experiências realizadas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil demonstraram o uso benéfico do biossólido para diversas culturas e para algumas propriedades físicas e características químicas e biológicas do solo (Melo et al., 1994; Poggiani et al., 2000; Silva et al., 2001; Melfi & Montes, 2001; Melo et al., 2004). Os biossólidos têm sido considerados eficientes em suprir nutrientes às culturas (Corrêa, 2004) e podem contribuir para reduzir os gastos com fertilizantes (Carvalho & Barral, 1981), com retorno financeiro expressivo no cultivo do milho (Biscaia & Miranda, 1996; Lourenço et al., 1996). O efeito imediato e residual da aplicação de biossólido foi observado em milheto e na associação aveia-ervilhaca (Da Ros et al., 1993), na soja (Vieira et al., 2005), no milho (Deschamps & Favaretto, 1997; Marques et al., 2000). No Distrito Federal, Silva et al. (2002a), em ensaio com milho, utilizando doses de 54 a 216 t ha⁻¹ de biossólido úmido aplicadas antes do primeiro cultivo, obtiveram a produtividade média de grãos de 4.700 kg ha⁻¹ em três cultivos, o que evidenciou a capacidade do biossólido em fornecer nutrientes à cultura e seu efeito residual até o terceiro ano. Silva et al. (2002b) verificaram que doses acima de 54 t ha⁻¹ de biossólido úmido requerem movimentação e manipulação de grande volume de material e sugeriram que o uso de doses menores poderia apresentar maior viabilidade.

Estudo recente da Organização Mundial da Saúde (Hutton & Haller, 2004) indicou que, em países em desenvolvimento, o retorno proporcionado por projetos de saneamento, incluída a adequada disposição final do biossólido ou lodo de esgoto, situa-se entre 5 e 28 dólares para cada dólar investido.

O objetivo deste trabalho foi avaliar, em dois anos agrícolas, o potencial de resposta do milho ao biossólido úmido comparativamente a fertilizante mineral misto, aplicados em doses equivalentes de N, P₂O₅ e K₂O,

em única vez, antes do primeiro cultivo. Avaliaram-se também a eficiência agronômica e a relação benefício-custo do biossólido como fertilizante na agricultura do Distrito Federal.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Embrapa Cerrados em Planaltina (DF) (Latitude S 15°35'42"; Longitude W 47°43'45"), nos anos agrícolas 2001/2002 e 2002/2003, em área de Latossolo Vermelho distrófico argiloso (teor de argila 520 g kg⁻¹) com declividade inferior a 5 %. Há 25 anos, aproximadamente, o local abrigou teste de híbridos de milho, posteriormente foi utilizado com pastagem de capim *Brachiaria sp* e estava em pouso por mais de oito anos.

Dados climatológicos da Estação Principal da Embrapa Cerrados (lat. S 15° 35' 30" e long. W 47° 42' 30", altitude 1.007 m), próxima ao local do experimento, indicaram que, de novembro a março de 2001/2002 e 2002/2003, períodos de instalação e desenvolvimento dos cultivos, as precipitações foram de 888,3 e 772,2 mm de chuva, respectivamente.

A análise do solo na camada de 0–20 cm (Embrapa, 1997), antes do primeiro cultivo, indicou: pH em água = 5,88; P = 1,04 mg dm⁻³; Al³⁺ = 0,10 mmol_c dm⁻³; H + Al = 34,9 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺ + Mg²⁺ = 53,3 mmol_c dm⁻³; K⁺ = 0,10 mg dm⁻³; V = 60,86 % e MO = 25,5 g dm⁻³.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com três repetições, em parcelas de 9,0 x 7,0 m (área útil de 14,4 m²), dispostas em arranjo de nove tratamentos, sendo quatro com doses crescentes de biossólido úmido e quatro com fertilizante mineral misto (em quantidades de N, P₂O₅ e K₂O equivalentes às do biossólido aplicado) mais a testemunha (Quadro 1).

O biossólido fornecido pela ETE Brasília Norte da CAESB, em outubro de 2001, passou pelo processo de estabilização biológica (digestão anaeróbia e aeróbia) seguido de polimento final com aplicação de coagulante metálico (Luduvice, 2000). A ETE Brasília Norte recebe esgotos eminentemente domésticos e gera o biossólido que atende aos requisitos de lodo Classe B da norma americana (Luduvice, 2000). Avaliaram-se a densidade do biossólido úmido (volume e peso iniciais das amostras recém-coletadas) e a do material seco (volume e peso finais das amostras após secagem em estufa a 65 °C, por 72 h, e depois a 105 °C, por 48 h, até atingirem peso constante). A caracterização química do material (Quadro 2) foi efetuada em oito amostras compostas, sendo cada uma constituída de 10 subamostras (Soccol, 2000). As análises realizadas no Laboratório de Solo e Planta do Instituto Agronômico de Campinas seguiram o método definido pela Norma P.4.320/99 da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB,

1999). No Laboratório de Química Analítica da Embrapa Cerrados, o N foi determinado por colorimetria (Oliveira, 1981) em espectrofotômetro de ultravioleta visível, modelo UV-1601 – Shimadzu, e

os elementos P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Al e Na foram analisados em espectrofotômetro de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado, modelo IRIS/AP – Thermo Jarrel Ash.

Quadro 1. Doses de biossólido e de fertilizante mineral misto aplicadas no cultivo de milho em solo do Cerrado

Nº	Nome ⁽¹⁾	Tratamento	Dose ⁽²⁾	
			Biossólido e fertilizante	N P ₂ O ₅ K ₂ O ⁽³⁾
			ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
1	Testemunha		0,0	00–00–00
2	BSL1		7,5 t	44–71–04
3	BSL2		15,0 t	88–142–08
4	BSL3		30,0 t	176–284–16
5	BSL4		45,0 t	264–426–24
6	FMN1		100–168–07 kg	44–71–04
7	FMN2		200–337–14 kg	88–142–08
8	FMN3		400–674–26 kg	176–284–16
9	FMN4		600–1011–40 kg	264–426–24

⁽¹⁾ BSL: biossólido; FMN: fertilizante mineral. ⁽²⁾ BSL: teor de água 900 g kg⁻¹ e densidade de 0,964 kg dm⁻³; FMN: uréia (0,44 kg kg⁻¹ de N), superfosfato triplo (0,421 kg kg⁻¹ de P₂O₅) e cloreto de K (0,60 kg kg⁻¹ de K₂O); ⁽³⁾ Análise química do biossólido seco (teor de água 100 g kg⁻¹): N, 53,27 g kg⁻¹; P, 37,37 g kg⁻¹; K, 3,98 g kg⁻¹.

Quadro 2. Caracterização química do biossólido da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB

Característica	CAESB ⁽¹⁾	CPAC ⁽²⁾	IAC ⁽³⁾
Teor de água (g kg ⁻¹)	820–860	930–810	–(4)
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	600–630	634,5–656,9	473,6–568,2
Cinzas (g kg ⁻¹)	350–400	32,31–35,28	–(4)
pH	5,6–8,1	5,8–7,4	–(4)
N (g kg ⁻¹)	10–50	51,8–56,9	41,2–53,3
P (g kg ⁻¹)	20–40	32,4–37,4	30,9–37,1
K (g kg ⁻¹)	5–10	2,9–4,0	3,5–4,5
Ca (g kg ⁻¹)	10–12	13,3–16,7	15,9–26,7
S (g kg ⁻¹)	8,2–12,2	8,2–9,4	9,3–9,6
Mg (g kg ⁻¹)	3–5	6,3–6,8	6,7–7,1
B (mg kg ⁻¹)	–(4)	13,0–26,1	13,6–17,1
Co (mg kg ⁻¹)	< 1	–(4)	–(4)
Cu (mg kg ⁻¹)	70–85	126–243	138–156
Fe (mg kg ⁻¹)	9.000–11.000	22.150–24.390	23.685–26.161
Mn (mg kg ⁻¹)	79–81	83–124	116–138
Mo (mg kg ⁻¹)	–(4)	–(4)	< 0,1
Na (mg kg ⁻¹)	–(4)	611–816	700–900
Zn (mg kg ⁻¹)	320–350	676–733	594–624
Al (mg kg ⁻¹)	10.000–12.000	36.220–45.400	43.269–53.003
As (mg kg ⁻¹)	–(4)	–(4)	< 0,1
Cd (mg kg ⁻¹)	< 2	–(4)	2,3–2,5
Pb (mg kg ⁻¹)	50	–(4)	90,4–95,6
Cr (mg kg ⁻¹)	48–56	–(4)	33,2–39,6
Hg (mg kg ⁻¹)	4	–(4)	< 0,1
Ni (mg kg ⁻¹)	2,5–5,2	–(4)	12,7–19,1
Se (mg kg ⁻¹)	–(4)	–(4)	< 0,1

⁽¹⁾ Adaptado de Silva et al. (2002a); teores em base seca. ⁽²⁾ Embrapa – Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (biossólido seco: teor de água 100 g kg⁻¹; média de seis amostras). ⁽³⁾ Instituto Agronômico de Campinas (biossólido seco: teor de água 100 g kg⁻¹; média de duas amostras). ⁽⁴⁾ Não determinado.

As fontes de NPK foram, respectivamente, uréia ($0,44 \text{ kg kg}^{-1}$ de N), superfosfato triplo ($0,421 \text{ kg kg}^{-1}$ de P_2O_5) e cloreto de K ($0,60 \text{ kg kg}^{-1}$ de K_2O). O cálculo da dose equivalente do fertilizante mineral foi feito com base na análise química, densidade e teor de água do biossólido.

A única aplicação do biossólido úmido e do fertilizante mineral misto ocorreu em 14 de novembro de 2001. A distribuição nas parcelas foi uniforme, a lanço manual, seguida de incorporação com grade niveladora na profundidade de 0–10 cm. Em todos os procedimentos de manipulação do biossólido, foram utilizados equipamentos de proteção individual (botas de borracha, luvas, máscaras, macacão, chapéu).

O primeiro plantio do milho, cultivar Cargill 901C, ocorreu em 16 de novembro de 2001 em solo preparado no sistema convencional (arado de discos, grade). O segundo plantio, utilizando o cultivar BRS 1001, foi realizado, em 20 de novembro de 2002, no sistema de plantio direto, sem adição de biossólido ou fertilizante mineral a qualquer tratamento. Em ambos os cultivos, foram utilizados semeadeira mecanizada, espaçamento entre linhas de 90 cm e uma densidade populacional de 55 mil plantas por hectare. Durante o desenvolvimento da cultura, foram realizados os tratos culturais de rotina para o controle de pragas e de plantas invasoras.

As colheitas do milho no primeiro e segundo cultivo foram efetuadas em 24 e 30 de abril de 2002 e 2003, respectivamente, na área útil (quatro linhas de 4,0 m) de cada parcela. As espigas foram separadas e os restos culturais devolvidos à respectiva parcela. A produtividade de grãos foi ajustada para o teor de água no grão em 13 %.

Utilizou-se o pacote estatístico SAS (2001) para a análise de variância da produção de milho e no ajuste de regressões polinomiais relacionando a produção de grãos com doses de biossólido e de fertilizante mineral. Contrastos não-ortogonais foram utilizados para a comparação entre as médias de produtividade do biossólido e fertilizante mineral.

A eficiência agronômica (valor fertilizante) do biossólido (EB) em relação ao fertilizante mineral (Silva et al., 2002a) foi obtida pela equação 1: $EB = 100 * (PB - PT) / (PF - PT)$, em que PB é a produtividade de grãos nos tratamentos com biossólido; PT é a produtividade do tratamento-testemunha e PF é a produtividade dos tratamentos com fertilizante mineral. A eficiência agronômica foi determinada em relação aos tratamentos 2, 3, 4 e 5 com uso de biossólido úmido, tomando, como referência, respectivamente, os tratamentos 6, 7, 8 e 9 que utilizaram fertilizante mineral em doses de NPK equivalentes às aplicadas nos tratamentos com biossólido (Quadro 1).

Para as avaliações econômicas, simulou-se uma propriedade distante 100 km da ETE-Brasília Norte da CAESB, em condições semelhantes às da área experimental, quando da aplicação do biossólido e do

fertilizante mineral. Todos os cálculos foram ajustados para a unidade de área de um hectare. A receita bruta, para cada tratamento, foi obtida, multiplicando-se o somatório da produtividade de grãos do primeiro e do segundo cultivos pelo preço pago ao produtor (R\$18,65 por saca de 60 kg), conforme CONAB (2003). O custo de produção da lavoura comercial de milho, para ambos os cultivos, foi estabelecido a partir de orçamento analítico adaptado da Proplanta (Carvalho & Pacheco, 2003). Na matriz de custos, o valor dos fertilizantes (biossólido e fertilizante mineral) foi definido, isoladamente, para cada tratamento. Assim, o custo de 1 ha de milho foi orçado em R\$600,00, excluídos os fertilizantes. O custo do fertilizante mineral, por tratamento, foi calculado pelo valor de N, P_2O_5 e K_2O e a respectiva quantidade aplicada antes do primeiro cultivo. De acordo com pesquisa de preço pago pelo produtor CONAB (2003), a cotação da tonelada de produto posto na propriedade a 100 Km, referenciada a abril de 2003, foi: uréia R\$845,00; superfosfato triplo R\$819,00 e cloreto de K R\$666,00. O custo do biossólido por tratamento foi equivalente à dose aplicada ($t \text{ ha}^{-1}$) multiplicada pelo valor do frete de R\$22,00 t^{-1} ; a esse resultado adicionaram-se os custos de distribuição (R\$24,00 ha^{-1}) e de incorporação (R\$20,00 ha^{-1}), segundo Canziani et al. (2001).

Na análise da relação benefício-custo do uso do biossólido como fertilizante (Silva et al., 2002b), foram utilizadas as receitas de comercialização, considerando a produtividade de grãos obtida na área experimental e os custos de produção nas lavouras comerciais de milho, no Distrito Federal, com base nos preços praticados em abril de 2003. Aplicou-se a equação 2: $BC = (RP - RT) / CP$, em que BC é a relação benefício-custo; RP é a receita bruta da produção de cada tratamento; RT é a receita bruta do tratamento-testemunha e CP é o custo de produção de cada tratamento.

Neste trabalho, para efeitos de referência de conversão de moedas, o dólar norte-americano foi cotado a três reais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito da aplicação do biossólido na produtividade de grãos dos dois cultivos de milho

A análise da eficiência do biossólido em relação ao fertilizante mineral, obtida por meio de contrastes não-ortogonais, mostrou que, nos dois cultivos, as produtividades médias do milho como do biossólido foram estatisticamente superiores às obtidas com o fertilizante mineral em 22 %, no primeiro cultivo ($F 14,30$; $Pr > F 0,0016$), e 19 %, no segundo ($F 13,66$; $Pr > F 0,0020$). Na média geral dos dois cultivos, o biossólido foi 21 % superior ao fertilizante mineral ($F 27,97$; $Pr > F 0,0001$).

A resposta imediata e residual do milho à única aplicação do biossólido e do fertilizante mineral, antes do primeiro cultivo, foi avaliada pela comparação entre as médias das produtividades de grãos, nos tratamentos, nos dois cultivos (Quadro 3).

A produtividade de todos os tratamentos foi significativamente superior à da testemunha. Para o biossólido, nos dois cultivos avaliados, a produtividade aumentou, significativamente, até à dose de 30 t ha⁻¹ e a produtividade desta não diferiu estatisticamente da dose de 45 t ha⁻¹.

Destaca-se que as médias de produtividade de grãos dos dois cultivos (6,56 e 6,63 t ha⁻¹) dos tratamentos que utilizaram, respectivamente, 30 e 45 t ha⁻¹ de biossólido úmido, superaram, em cerca de 54 %, a produtividade média (4,27 t ha⁻¹) do milho no Distrito Federal, e, em 93 %, o rendimento médio (3,40 t ha⁻¹) da cultura no Brasil (IBGE, 2003b). As produtividades obtidas foram comparáveis às apresentadas por Biscaia & Miranda (1996) que utilizaram doses de 2, 4, 6 e 60 t ha⁻¹ de biossólido, base seca, em milho e obtiveram produtividades médias acima de 5 t ha⁻¹ de grãos; resultados comparáveis também foram obtidos por Marques et al. (2000), em Latossolo Vermelho-Escuro, nas doses de 2,5 e 5,0 t ha⁻¹ de biossólido, base seca, cujas produtividades médias de dois cultivos foram, respectivamente, de 6,54 e 6,32 t ha⁻¹ de grãos. Salienta-se que, no presente trabalho, a maior dose de biossólido úmido (45 t ha⁻¹) correspondeu, aproximadamente, a 4,5 t ha⁻¹ do material em base seca.

Neste estudo, nas doses de 30 e 45 t ha⁻¹ de biossólido úmido, obtiveram-se, como médias dos dois cultivos, 6,56 e 6,63 t ha⁻¹ de grãos, respectivamente; no trabalho de Silva et al. (2001a), nas doses de 54, 108 e 216 t ha⁻¹ de biossólido úmido, obtiveram-se,

como média dos dois primeiros cultivos, 5,20, 5,80 e 6,64 t ha⁻¹ de grãos. Apesar das particularidades de cada experimento, a análise das produtividades nos dois casos mostra a viabilidade do uso de doses de biossólido úmido menores de 54 t ha⁻¹, de acordo com sugestão de Silva et al. (2001b). Mesmo com doses menores do que as utilizadas no trabalho de Silva et al. (2001a), o efeito residual da aplicação do biossólido úmido ficou evidente no segundo cultivo, cujas produtividades, nas doses de 30 e 45 t ha⁻¹, corresponderam a 77 e 80 % das obtidas no primeiro cultivo. Resultado semelhante foi verificado por Deschamps et al. (1997), ao estudarem o efeito residual da aplicação de biossólido no desenvolvimento e produtividade do milho nos sistemas de preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto em dois anos consecutivos. A viabilidade de uso de pequenas doses de biossólido na cultura do milho, evidenciada nos resultados anteriores, mostra que as necessidades de nutrientes da cultura foram supridas, por pelo menos dois anos agrícolas, sem prejuízo para a produção.

As respostas do milho às aplicações de biossólido úmido e fertilizante mineral (efeito imediato e residual) foram adequadamente representadas pelas equações estabelecidas a partir do modelo de regressão polinomial do segundo grau ($\hat{y} = ax^2 + bx + c$, \hat{y} = produtividade e x = dose de biossólido) (Quadro 4).

A derivação das equações mostrou que a produtividade máxima estimada de grãos (7,82 t ha⁻¹), no primeiro cultivo (efeito imediato), seria atingida com a dose de 35,6 t ha⁻¹ de biossólido úmido, enquanto, no segundo cultivo (efeito residual), essa produtividade (5,95 t ha⁻¹) seria atingida com a dose nominal de 42,8 t ha⁻¹ de biossólido úmido. A provável explicação

Quadro 3. Efeito imediato e residual do biossólido e do fertilizante mineral misto na produtividade de grãos de dois cultivos de milho⁽¹⁾

Nº	Nome	Cultivo		Média
		Primeiro	Segundo	
			kg ha ⁻¹	
1	Testemunha.	414 f	1.030 d	722 e
2	BSL1	3.351 de	2.709 cb	3.030 d
3	BSL2	5.556 bc	3.612 b	4.584 b
4	BSL3	7.409 a	5.702 a	6.556 a
5	BSL4	7.380 a	5.882 a	6.631 a
6	FMN1	2.635 e	2.476 c	2.555 d
7	FMN2	4.551 dc	3.314 b	3.933 b
8	FMN3	6.586 ba	4.880 a	5.733 a
9	FMN4	6.658 ba	4.980 a	5.819 a
C.V. (%)		10,7	9,7	7,3

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5 % pelo teste Tukey. ⁽²⁾ Detalhes sobre os tratamentos ver quadro 1.

para este resultado está no fato de que, mesmo no segundo cultivo, a equação foi estimada com as doses nominais estabelecidas, sem considerar a remoção de nutrientes no primeiro cultivo, o que, dentre outros fatores, reduziu suas quantidades no solo.

O comportamento das produtividades do milho, média de duas safras, em resposta às doses de biossólido (Figura 1), mostrou que, com base na equação ajustada, a produtividade máxima estimada em grãos ($6,84 \text{ t ha}^{-1}$) seria atingida com $37,86 \text{ t ha}^{-1}$ de biossólido úmido.

Eficiência do biossólido

A eficiência agronômica do biossólido no suprimento de nutrientes às plantas em relação ao fertilizante mineral (Quadro 5), avaliada pela primeira equação 1, mostrou que, no primeiro e no segundo cultivo, o biossólido foi, respectivamente, 22 e 19 % mais eficiente que o fertilizante mineral, o que é consistente com os resultados obtidos por Silva et al. (2002a).

Quadro 4. Relação entre a produtividade de grãos de milho (y), no primeiro e no segundo cultivo, e as doses de biossólido e fertilizante mineral misto (x) aplicadas no solo

Insumo	Equação	R^2
Primeiro cultivo		
Biossólido	$\hat{Y} = -5,7667^{**}x^2 + 410,15^{**}x + 521,82^{**}$	0,997**
Fertilizante mineral	$\hat{Y} = -4,4994^{**}x^2 + 341,77^{**}x + 389,51^{**}$	0,999**
Segundo cultivo		
Biossólido	$\hat{Y} = -2,7004^{**}x^2 + 230,98^{**}x + 1014,60^{**}$	0,992**
Fertilizante mineral	$\hat{Y} = -2,4515^{**}x^2 + 198,57^{**}x + 1035,80^{**}$	0,996**

** Significativo a 1 %.

Quadro 5. Eficiência do biossólido como fornecedor de nitrogênio, fósforo e potássio para dois cultivos de milho⁽¹⁾

Tratamento ⁽²⁾	Cultivo		Média
	Primeiro	Segundo	
% —			
2 BSL1	132,08	116,98	124,53
3 BSL2	131,49	113,03	122,26
4 BSL3	113,36	121,80	117,58
5 BSL4	111,56	124,21	117,88
Média	122,12	119,00	120,56

⁽¹⁾ A eficiência do biossólido foi calculada pela Eq. 2: $EB = 100 \times (PB - PT) / (PF - PT)$, em que PB é a produtividade de grãos dos tratamentos com biossólido; PT é a produtividade do tratamento-testemunha, e PF é a produtividade dos tratamentos com fertilizante mineral. ⁽²⁾ Detalhes sobre os tratamentos ver quadro 1.

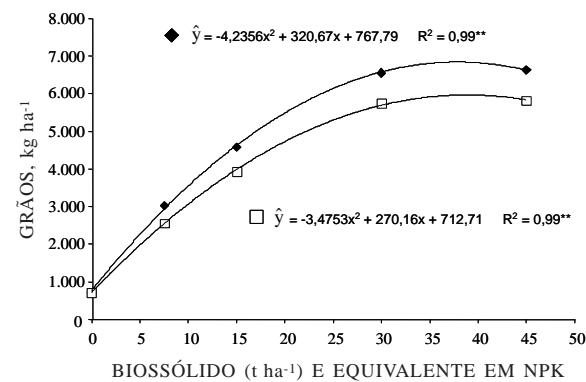


Figura 1. Efeito do biossólido (◊) e do fertilizante mineral misto (□) na produtividade de grãos de milho. Média dos dois cultivos.

Avaliado pela produtividade média dos dois cultivos, o biossólido foi 21 % mais eficiente.

Análise de benefício-custo

A relação benefício-custo é um dos fatores determinantes para a adoção de determinada tecnologia pelo agricultor e, no presente caso (Quadro 6), mostra a taxa de retorno de cada real aplicado no biofertilizante e no fertilizante mineral utilizados no cultivo do milho. Assim, para o cenário de lavoura comercial proposto, os resultados de produtividade do milho indicaram que a taxa de retorno com o uso do biofertilizante (exceto no tratamento de 7,5 t ha⁻¹) foi maior que a verificada em qualquer dos tratamentos com fertilizante mineral. Isto pode ser atribuído à maior receita obtida pela maior produtividade, como também ao menor custo de produção resultante da utilização do biofertilizante em relação ao fertilizante mineral.

A análise dos resultados mostrou que, embora as produções obtidas nas doses de 30 t ha⁻¹ e 45 t ha⁻¹ de biofertilizante úmido não tenham diferido estatisticamente, o retorno econômico obtido com a primeira dose (R\$0,90 para cada real investido) foi maior que o observado na segunda (R\$0,64 para cada real investido), o que pode ser atribuído ao seu maior custo de produção.

Na simulação da relação benefício-custo para dois cultivos de milho no Distrito Federal, cada um projetado para uma produção de 6,5 t ha⁻¹ de grãos com o uso de fertilizante mineral na dose anual de 20 kg ha⁻¹ de N, 65 de P₂O₅ e 40 de K₂O na adubação de manutenção e de 50 kg ha⁻¹ de N e de 27,5 de K₂O na adubação de cobertura (Sousa & Lobato, 2002), observou-se um retorno econômico de R\$0,87 por real investido no fertilizante mineral, valor semelhante ao

obtido (R\$0,90) com o biofertilizante úmido na dose de 30 t ha⁻¹. Neste contexto, a análise de benefício-custo constitui importante instrumento de gerenciamento do empreendimento agrícola. Por sua vez, Biscaia & Miranda (1996), ao considerarem o preço do biofertilizante como apenas seu custo de transporte, observaram que o retorno financeiro por unidade monetária de biofertilizante aplicado no milho foi quatro vezes maior que o retorno do fertilizante mineral.

Os resultados deste estudo mostram sintonia com observações de Hutton & Haller (2004), em que o fechamento do ciclo do saneamento requer uma alternativa adequada para disposição final dos resíduos urbanos. Considerando os aspectos agronômicos, objeto deste trabalho, a produção diária de 400 toneladas de biofertilizante úmido no Distrito Federal seria suficiente para o cultivo anual de 5 mil hectares de lavoura de milho, utilizando o biofertilizante úmido como fertilizante na dose de 30 t ha⁻¹, com retorno econômico favorável.

Para as condições em que foi realizado este trabalho, o biofertilizante apresentou uma vantagem comparativa em relação ao uso do fertilizante mineral, com evidências positivas para doses de 30 a 45 t ha⁻¹. Entretanto, apesar dos coeficientes agronômicos, obtidos para pequenas quantidades de biofertilizante, o seu aproveitamento na agricultura do Distrito Federal depende, dentre outros fatores, da atenção aos limites quanto à presença de metais pesados e agentes patogênicos estabelecidos pela legislação brasileira, da aceitação e da conscientização quanto à aplicação correta das recomendações técnicas por parte dos usuários.

Quadro 6. Análise de benefício-custo do biofertilizante e fertilizante mineral misto em relação ao total de grãos dos dois cultivos de milho

Nº	Nome	Tratamento ⁽¹⁾	Produção total ⁽²⁾	Receita bruta ⁽³⁾	Custo de produção ⁽⁴⁾	Relação benefício/custo ⁽⁵⁾
			kg ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹		
1	Testemunha		1.444,1	448,83	1.200,00	- ⁽⁶⁾
2	BSL1		6.059,4	1.883,26	1.409,24	1,02
3	BSL2		9.167,3	2.849,20	1.574,24	1,52
4	BSL3		13.111,4	4.075,02	1.904,24	1,90
5	BSL4		13.261,9	4.121,80	2.234,24	1,64
6	FM1		5.110,8	1.588,44	1.426,50	0,80
7	FM2		7.865,2	2.444,50	1.654,33	1,21
8	FM3		11.465,9	3.563,60	2.107,33	1,48
9	FM4		11.637,2	3.616,84	2.563,58	1,24

⁽¹⁾ Detalhes sobre os tratamentos ver quadro 1. ⁽²⁾ Somatório das produtividades de grãos do primeiro e do segundo cultivo. ⁽³⁾ Produção comercializada ao preço de R\$18,65 sc⁻¹ de 60 kg (base abril 2003). ⁽⁴⁾ Custo de insumos e serviços (R\$600,00) para cada ano, mais o valor dos fertilizantes por tratamento. ⁽⁵⁾ Eq. 1: BC = (RP - RT)/CP, em que RP é receita de produção; RT é receita testemunha; e CP custo de produção. ⁽⁶⁾ Não determinado.

CONCLUSÕES

1. A utilização de biossólido como fertilizante na cultura do milho mostrou-se agronomicamente viável, com produtividade média de dois cultivos acima de 6,50 t ha⁻¹, nas doses de 30 e de 45 t ha⁻¹ de biossólido úmido.
2. O efeito residual do biossólido úmido foi observado no segundo cultivo, de modo mais efetivo nas doses de 30 e 45 t ha⁻¹, cujas produtividades atingiram, respectivamente, 77 e 80 % das obtidas no primeiro cultivo.
3. O biossólido foi, em média, 21 % mais eficiente do que o fertilizante mineral.
4. Para o milho, a melhor relação benefício-custo (1,90) foi obtida com a aplicação de 30 t ha⁻¹ de biossólido úmido.

LITERATURA CITADA

- ANDREOLI, C.V. & PEGORINI, E.S. Gestão pública do uso agrícola do lodo de esgoto. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.281-312.
- BISCAIA, R.C.M. & MIRANDA, G.M. Uso do lodo de esgoto calado na produção de milho. Curitiba, Sanare, 5:86-89, 1996.
- CANZIANI, J.R.F.; PEGORINI, E.S.; MASSARDO, M. & OSAKI, M. Aspectos sócio-econômicos. In: ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I. & FERNANDES, F., orgs. Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções. Curitiba, SANEPAR/FINEP, 2001. p.239-261.
- CARVALHO, E. & PACHECO, L. Orçamento analítico para a cultura do milho: Proplanta – Consultoria Agronômica, Barreiras, BA. Mensagem recebida por <jlemainski@hotmail.com> em 20 maio 2003.
- CARVALHO, P.C. & BARRAL, M.F. Aplicação de lodo de esgoto como fertilizante. Fertilizantes, 3:1-4, 1981.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: Critérios para projeto e operação. Manual Técnico. São Paulo, 1999. 32p.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DO DISTRITO FEDERAL – CAESB. Água e Esgotos no Distrito Federal. Disponível em: <http://caesb.df.gov.br>. Acesso em: 10 ago. 2003.
- CORRÊA, R.S. Efficiency of five biosolids to supply nitrogen and phosphorus to ryegrass. Pesq. Agropec. Bras., 39:1133-1139, 2004.
- DA ROS, C.O.; AITA, C.; CERETA, C.A. & FRIES, M.R. Lodo de esgoto: Efeito imediato no milheto e residual na associação aveia-ervilhaca. R. Bras. Ci. Solo, 17:257-261, 1993.
- DESCHAMPS, C. & FAVARETTO, N. Projeto interdisciplinar para o desenvolvimento de critérios sanitários, agronômicos e ambientais para a implantação da reciclagem agrícola do lodo de esgoto. Curitiba, SANEPAR, 1997. (Relatório Técnico)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Embrapa – CNPS, Documentos, 1)
- FERNANDES, F.; LARA, A.I.; ANDREOLI, C.V. & PEGORINI, E.S. Normatização para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I. & FERNANDES, F., orgs. Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções. Curitiba, SANEPAR/FINEP, 2001. p.263-291.
- FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V. & JÜRGENSEN, D. Destino final do lodo. In: PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO - PROSAB. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Rio de Janeiro, 1999. p.26-28.
- HUTTON, G. & HALLER, L. Evaluation of the costs and benefits of water and sanitation improvements at the global level. Geneva, Switzerland, World Health Organization (WHO), 2004. 87p. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/en/wsh0404.pdf>. Acesso em 21 dez. 2005.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Agropecuário de 1995-1996. Utilização das terras do Distrito Federal. Disponível em: <http://www1.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro>. Acesso em 11 abr. 2003a.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Produção Agrícola Municipal. Lavoura temporária do Distrito Federal 2001. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela>. Acesso em 23 jun. 2003b.
- LOURENÇO, R.S.; ANJOS, A.R.M. & LIBARDI, P.L. Efeito do lodo de esgoto na produtividade de milho e feijão no sistema de produção de bracatinga. Sanare, 5:90-92, 1996.
- LUDUVICE, M. Experiência da Companhia de Saneamento do Distrito Federal na reciclagem agrícola de biossólido. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O., eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.153-162.
- MARQUES, M.O.; TSUTIYA, M.T.; MELO, W.J. & SOUZA, A.H.C.B. Desempenho de plantas de milho cultivadas em solos acrescidos de biossólido oriundo da estação de tratamento de esgoto de Barueri, localizada na região metropolitana de São Paulo. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL: ABES/AIDIS,27., Porto Alegre, 2000. Anais. Porto Alegre, 2000. CD ROOM
- MELFI, A.J. & MONTES, C.R. Impacto dos biossólidos sobre o solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPAÑOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J. & MARQUES, M.O., eds. Biossólidos na agricultura, São Paulo, SABESP, 2001. p.243-272.
- MELO, V.P.; BEUTLER, A.N.; SOUZA, Z.M.; CENTURION, J.F. & MELO, W.J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. Pesq. Agropec. Bras., 39:67-72, 2004.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPAÑOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J. & MARQUES, M.O. eds. Biossólidos na agricultura. São Paulo, SABESP, 2001. p.289-363.

- MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A. & LEITE, S.A.S. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações de matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:449-455, 1994.
- OLIVEIRA, S.A. Método colorimétrico para a determinação de nitrogênio em plantas. *Pesq. Agropec. Bras.*, 16:645-649, 1981.
- POGGIANI, F.; GUEDES, M.C. & BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: I. reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.163-177.
- PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO - PROSAB. Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. 84p.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SENEPAR. Reciclagem agrícola do lodo de esgoto: Estudo preliminar para definição de critérios para uso agronômico e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária. 2.ed. Curitiba, 1999. 81p.
- SAS INSTITUTE – Release 8.2 (TS2MO) for Windows. Cary, 2001. CD-ROM.
- SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A. & MENDONÇA, E. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36:831-840, 2001.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & SHARMA, R.D. Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. I – Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:487-495, 2002a.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & SHARMA, R.D. Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. II – Aspectos qualitativos, econômicos e práticos de seu uso. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:497-503, 2002b.
- SOCCOL, V.T.; PAULINO, R.C. & CASTRO, E.A. Metodologia para análise parasitológica em lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C.V. Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto. 2.ed. Curitiba, SANEPAR, 2000. p.27-45.
- SOUZA, D.M.G. & LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E., eds. Cerrado: Correção do solo e adubação. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2002. p.283-315.
- TSUTIYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPAÑHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J. & MARQUES, M.O., eds. Biossólidos na agricultura. São Paulo, SABESP, 2001. p.133-180.
- VIERIA, R.F.; TANAKA, R.T.; TSAY, S.M.; PÉREZ, D.V. & SILVA, C.M.M.S. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 40:919-926, 2005.