

**Efeitos do Uso de Lodo de Esgoto
na Nodulação da Soja e em
Atributos Biológicos do Solo**



ISSN 1676-918X
ISSN online 2176-509X
Fevereiro, 2009

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 250

Efeitos do Uso de Lodo de Esgoto na Nodulação da Soja e em Atributos Biológicos do Solo

*Carla Albuquerque de Souza
Fábio Bueno dos Reis Junior
Ieda de Carvalho Mendes
Jorge Lemainski
José Eurípedes da Silva*

Embrapa Cerrados
Planaltina, DF
2009

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Fernando Antônio Macena da Silva*

Secretária-Executiva: *Marina de Fátima Vilela*

Secretária: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Jussara Flores de Oliveira Arbués*

Equipe de revisão: *Francisca Elijani do Nascimento*

Jussara Flores de Oliveira Arbués

Assistente de revisão: *Elizelva de Carvalho Menezes*

Normalização bibliográfica: *Shirley da Luz Soares*

Editoração eletrônica: *Fabiano Bastos*

Capa: *Fabiano Bastos*

Foto da capa: *Jorge Lemainiski*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*

Alexandre Moreira Veloso

1ª edição

1ª impressão (2009): tiragem 100 exemplares

Edição online (2009)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Cerrados

E27 Efeitos do uso de lodo de esgoto na nodulação da soja e em atributos biológicos do solo / Carla Albuquerque de Souza... [et al.]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2009. 23 p. — (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X, ISSN online 2176-509X ; 250).

1. Lodo residual. 2. Soja - Cerrado. I. Souza, Carla Albuquerque de. II. Série.

631.869 - CDD 21

© Embrapa 2009

Sumário

Resumo.....	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos.....	9
Resultados e Discussão.....	12
Nodulação e rendimento da soja	12
Atributos biológicos do solo	15
Conclusões	20
Referências.....	20

Efeitos do Uso de Lodo de Esgoto na Nodulação da Soja e em Atributos Biológicos do Solo

Carla Albuquerque de Souza¹; Fábio Bueno dos Reis Junior²; Iêda de Carvalho Mendes³; Jorge Lemainski⁴; José Eurípedes da Silva⁵

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da aplicação do lodo produzido pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal na nodulação e rendimento de grãos da soja e em atributos biológicos de um Latossolo Vermelho de Cerrado. Com delineamento experimental de blocos ao acaso, três repetições e nove tratamentos, sendo uma testemunha, quatro doses crescentes de lodo de esgoto e quatro de fertilizante mineral, o experimento foi conduzido por dois anos consecutivos, em que foram avaliadas a nodulação e produtividade da soja, além do carbono da biomassa microbiana, carbono prontamente mineralizável e atividade das enzimas β -glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase no solo. Nas duas safras, o rendimento de grãos da soja no tratamento com fertilizante mineral foi superior ao do lodo de esgoto somente na dose mais baixa. A aplicação do lodo não afetou a nodulação da soja e não apresentou efeito, em doses de até 6 ton ha⁻¹, sobre o carbono da biomassa microbiana, o carbono prontamente mineralizável e a atividade das enzimas β -glicosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida.

Termos para indexação: biossólido, carbono da biomassa microbiana do solo, atividade enzimática do solo, *Glycine max* (L.) Merr.

¹ Bióloga, Bolsista da Embrapa Cerrados, carla.biologia@gmail.com

² Engenheiro Agrônomo, Ph.D., Pesquisador da Embrapa Cerrados, fabio@cpac.embrapa.br

³ Engenheira Agrônoma, Ph.D., Pesquisadora da Embrapa Cerrados, mendesi@cpac.embrapa.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Pesquisador da Embrapa Agroenergia, jlemainski@hotmail.com

⁵ Engenheiro Agrônomo, Ph.D., Pesquisador da Embrapa Agroenergia, jose.euripedes@embrapa.br

Sewage Sludge and its Effects on Soybean Yield and Soil Biological Parameters

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effects of the Caesb's sewage sludge application on the nodulation and yield of soybean and on biological parameters of a Cerrado's Oxisol. In a randomized complete block design with three repetitions and nine treatments, consisting of four growing doses of sewage sludge and four doses of mineral fertilizer plus a control, the soybean crop was evaluated in two consecutive years when nodulation and grain yield, besides microbial biomass carbon, readily mineralizable carbon and the activity of the enzymes β -glucosidase, acid phosphatase and arylsulfatase were evaluated. In both years, only at the lowest doses, the grain yield was higher using mineral fertilizer in comparison to the use of sewage sludge. Application of sewage sludge didn't affect the soybean nodulation. Application up to 6 ton ha⁻¹ of the sewage sludge didn't present effect over the microbial biomass carbon, readily mineralizable carbon and the activity of the enzymes β -glucosidase, acid phosphatase and arylsulfatase.

Index terms: organic residue, soil microbial biomass, soil enzymatic activity, Glycine max (L.) Merr.

Introdução

Lodo de esgoto ou biossólido é o resíduo do tratamento de esgoto, rico em matéria orgânica e em nutrientes indispensáveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas (BETTIOL; CAMARGO, 2000; SOARES, 2005; GUEDES et al., 2006). Para evitar seu acúmulo nas estações de tratamento de esgotos (ETEs), é comum seu descarte em rios e mares, sua disposição em aterros sanitários ou sua incineração, causando efeitos deletérios ao meio ambiente, como eutrofização, poluição do solo, do ar e de lençóis freáticos (BETTIOL; CAMARGO, 2000). Entretanto, uma opção ambientalmente sustentável para disposição final do lodo de esgoto é seu uso na agricultura e em atividades florestais, como fertilizante e condicionador de solo (SILVA et al., 2002 a: b; ROCHA et al., 2004; LEMAINSKI; SILVA, 2006 a e b). Para isso, o lodo de esgoto deve ser tratado e apresentar concentrações de agentes patogênicos e de metais pesados adequados às normas de uso agrícola – Resolução nº 375/2006 – Conama. Os efeitos da aplicação do lodo nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo devem ser monitorados ao longo do tempo.

A avaliação de indicadores microbiológicos, tais como o carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), o C prontamente mineralizável (evolução de CO₂) e a atividade enzimática nas áreas tratadas com lodo, vem sendo utilizada no monitoramento do impacto ambiental desse produto. Por exemplo, Fernandes et al. (2005), utilizando lodo proveniente da estação de Barueri, SP, observaram aumentos no CBM, no C-mineralizável e nas atividades das enzimas amilase e urease, em função da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto.

Revoredo e Melo (2007) observaram, num experimento em casa de vegetação utilizando lodo de esgoto contaminado com níquel, também oriundo da estação de tratamento de Barueri, SP, que a atividade da fosfatase ácida diminuiu com o aumento da quantidade de níquel. Sastre et al. (1996), em um experimento de seis anos, compararam a atividade de lodo de esgoto de origem industrial e doméstica com o

uso de fertilizante mineral. A atividade da enzima β -glicosidase foi mais alta nos tratamentos com lodo de esgoto do que nos tratamentos com fertilizante mineral ou no tratamento controle. No estudo de Kizilkaya e Bayrakli (2005), foi observado um aumento na atividade da enzima arilsulfatase nos tratamentos com maior dose de lodo de esgoto.

Na cultura da soja, a aplicação do lodo de esgoto pode interferir na fixação biológica de nitrogênio (FBN) por causa de diversos fatores, entre eles, os teores de metais pesados (ARAÚJO, 2003) e sais solúveis (MADARIAGA; ANGLE, 1992) que podem ser encontrados em sua composição. Castilhos et al. (2001) observaram que a nodulação foi inibida nos tratamentos que continham quantidades altas de cádmio. No entanto, nos estudos de Vieira et al. (2004) e Araújo (2003), constatou-se que o lodo estimulou a nodulação e, conseqüentemente, a FBN.

Em Brasília, o lodo de esgoto, de origem predominantemente doméstica, é produzido pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb), atingindo cerca de 400 toneladas diárias. Esse material, segundo resolução do Conama (2006), encaixa-se na Classe B com relação ao teor de microrganismos patogênicos, com concentração máxima de coliformes termotolerantes de 2×10^6 unidades formadoras de colônia por grama de matéria seca, possuindo também baixa concentração de metais pesados, com valores bem abaixo dos limites preconizados pelas normas americanas e européias (GONÇALVES; LUDOVIC, 2000). O desempenho agrônômico e econômico do lodo da Caesb foi avaliado por Silva et al. (2002 a; b) e Lemainski e Silva (2006). Sabendo-se que as características dos lodos de diferentes locais do País variam em função da época do ano, do tipo de tratamento e da bacia de drenagem e que sua composição (matéria orgânica, metais pesados, organismos patogênicos, entre outros) em diferentes tipos de solo pode causar alterações no agroecossistema, esse trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação imediata e residual do lodo de esgoto produzido pela Caesb na nodulação e rendimento da soja e nos atributos biológicos (CBM, C prontamente mineralizável e atividade das enzimas β -glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase) de um Latossolo Vermelho de Cerrado.

Material e Métodos

O experimento foi realizado no período de 2004 a 2006 na Embrapa Cerrados em um Latossolo Vermelho de textura argilosa (520 g kg⁻¹ de argila), cujo histórico foi descrito detalhadamente por Lemainski e Silva (2006 a e b). A análise do solo na camada de 0 cm a 20 cm, antes do primeiro cultivo, indicou: pH em água = 5,96; P = 3,12 mg dm⁻³; Al³⁺ = 0,0 mmolc dm⁻³; H + Al = 33,2 mmolc dm⁻³; Ca²⁺ + Mg²⁺ = 53,3 mmolc dm⁻³; K⁺ = 76,6 mg dm⁻³ e MO = 26,9 g dm⁻³.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com três repetições (parcelas de 9,0 m x 7,0 m) e nove tratamentos, sendo quatro com doses crescentes de lodo de esgoto (base seca) e quatro com fertilizante mineral misto (em quantidades de N, P₂O₅ e K₂O equivalentes às de lodo de esgoto aplicado) mais uma testemunha sem lodo e sem fertilizante mineral (Tabela 1).

Tabela 1. Doses de lodo de esgoto (base seca) e fertilizante mineral misto (NPK) aplicadas ao cultivo de soja em um Latossolo Vermelho do Cerrado, Planaltina, DF.

Tratamentos ⁽¹⁾	Doses ⁽²⁾ (ha ⁻¹)	Teor de N, P ₂ O ₅ e K ₂ O (kg ha ⁻¹)
Testemunha	0,0	00-00-00
LDE1	1,5 t	99-101-07
LDE2	3,0 t	196-200-14
LDE3	4,5 t	295-301-22
LDE4	6,0 t	393-402-29
FMN1	224-239-12 kg	99-101-07
FMN2	446-476-24 kg	196-200-14
FMN3	670-715-36 kg	295-301-22
FMN4	893-954-48 kg	393-402-29

¹ LDE: Lodo de esgoto; FMN: Fertilizante mineral;

² As doses de Lodo estão expressas em base seca - o teor de umidade do produto aplicado = 700g/kg. As fontes de NPK do FMN foram, respectivamente, uréia (0,44 kg de N kg⁻¹), superfosfato triplo (0,421 kg de P₂O₅ kg⁻¹) e cloreto de potássio (0,60 kg de K₂O kg⁻¹).

O lodo utilizado neste trabalho foi produzido na ETE Brasília Norte da Caesb e armazenado em depósito temporário junto à área experimental da Embrapa Cerrados. Esse material apresentava teor de água de 700 g kg^{-1} , densidade de $0,90 \text{ kg L}^{-1}$ e sua composição química é apresentada na Tabela 2. Em 7 de dezembro de 2004, o lodo de esgoto e o fertilizante mineral foram aplicados ao solo uniformemente, a lanço, seguidos de incorporação com grade niveladora na profundidade de 0 cm a 10 cm.

Tabela 2. Características químicas do lodo de esgoto da Caesb (base seca) utilizado nesse trabalho.

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Al	Na
58,9 ^a	26,2 ^a	3,6 ^a	1,7 ^a	4,7 ^a	6,9 ^a	7,4 ^b	155,4 ^b	32,6 ^a	46,7 ^b	536,4 ^b	36,1 ^a	515,1 ^b

^aValores dados em g kg^{-1}

^bValores dados em mg kg^{-1}

Dois dias após a aplicação do lodo de esgoto e do fertilizante mineral, em 9 de dezembro de 2004, a soja foi plantada no solo preparado com aração e gradagem. Na safra seguinte, cujo plantio foi feito em 24 de novembro de 2005, utilizou-se o plantio direto. Nessa safra, com o intuito de se avaliar o efeito residual das adições feitas ao solo no ano anterior, não foram feitas aplicações de lodo de esgoto ou fertilizantes.

A cultivar de soja utilizada foi BRS Raimunda plantada num espaçamento de 45 cm e numa densidade de 18 plantas por metro. Antes dos dois plantios, as sementes de todos os tratamentos foram inoculadas com as estirpes SEMIA 5080 (CPAC 7) e SEMIA 5079 (CPAC 15) na proporção de 500 g de inoculante turfoso para 40 kg de semente.

As amostragens para avaliação da nodulação da soja foram feitas aos sessenta dias após a germinação das sementes, na fase de floração. A parte aérea foi separada da raiz, os nódulos foram destacados, lavados e secos em estufa com ventilação forçada a $65 \text{ }^\circ\text{C}$, até atingir massa constante. A seguir, os nódulos foram contados e pesados.

Para avaliação dos atributos biológicos do solo, foram coletadas amostras nas profundidades de 0 cm a 5 cm (por meio de minitrincheiras utilizando um facão) e de 5 cm a 20 cm (com trado holandês), em março de 2005 e fevereiro de 2006. Em cada parcela, foram coletadas seis subamostras para formar uma amostra composta. O solo foi acondicionado em sacos plásticos e armazenado em geladeira a uma temperatura de 7 °C a 10 °C até a realização das análises. No laboratório, as amostras passaram por uma peneira de 4 mm e resíduos orgânicos, como plantas, raízes e sementes, foram removidos manualmente.

O CBM foi determinado pelo método clorofórmio-fumigação-extração (CFE) proposto por Vance et al. (1987). Depois da coleta no campo, quando necessário, o teor de umidade das amostras de solo (20 g) foi elevado a 90 % da capacidade de campo e elas foram pré-incubadas, no escuro, por sete dias, à temperatura ambiente. Em seguida, metade das amostras de solo foi fumigada por 48 horas em um dessecador, contendo uma placa de Petri com 25 ml de clorofórmio livre de álcool. Durante esse período, as amostras não-fumigadas foram mantidas à temperatura ambiente. O carbono da biomassa microbiana foi extraído pela adição de 50 ml de uma solução de sulfato de potássio (0,5 mol/L de K_2SO_4) e determinado por titulação com uma solução de sulfato ferroso amoniacal $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ em ácido sulfúrico concentrado, na presença de um indicador composto por fenantrolina (0,075 mol/L) e sulfato ferroso (0,041 mol/L). A quantidade de CBM foi determinada pela diferença entre o carbono orgânico extraído das amostras de solo fumigadas e não fumigadas, usando um fator de correção (Kec) igual a 0,35. O carbono prontamente mineralizável foi estimado por meio da quantidade de gás carbônico liberado pelas amostras de solo não fumigado, incubadas por um período de sete dias (OLIVEIRA et al., 2001). Essas amostras foram transferidas para recipientes de vidro com tampas rosqueáveis e capacidade de 500 ml contendo um frasco de vidro (30 ml) com 10 ml de KOH 0,3 M. A quantidade de CO_2 evoluído do solo foi determinada após titulação

com HCl 0,1 M usando fenolftaleína 1 % como indicador. Antes da titulação, foram adicionados 3 ml de BaCl₂ 20 %.

As atividades das enzimas do solo associadas ao ciclo do carbono (β -glicosidase), do fósforo (fosfatase ácida) e do enxofre (arilsulfatase) foram determinadas utilizando-se os métodos descritos por Tabatabai (1994). Esses métodos baseiam-se na determinação colorimétrica do p-nitrofenol (coloração amarela) formado após a adição de substratos incolores específicos para cada enzima avaliada, a saber: p-nitrofenil- β -D-glicopiranosídeo, p-nitrofenilfosfato e p-nitrofenil sulfato, para as enzimas β -glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase, respectivamente. Para cada amostra de solo coletada no campo, foram realizadas duas repetições analíticas no laboratório, mais os controles. A atividade enzimática do solo é expressa em μ g p-nitrofenol liberado por hora por grama de solo seco.

As análises de variância individuais, para cada safra, foram efetuadas com o programa estatístico SAS (SAS Institute, Cary, NC) e as diferenças estatísticas foram determinadas pelo teste de Duncan, a 5 % de probabilidade. Para comparação dos efeitos decorrentes da aplicação do lodo de esgoto e do fertilizante mineral nos atributos microbiológicos do solo, contrastes não-ortogonais também foram calculados e testados, pelo teste F a 5 % e 1 % de significância.

Resultados e Discussão

Nodulação e rendimento da soja

Na avaliação feita na safra 2004/2005 (primeiro ano do experimento), nos tratamento com as doses 3 e 4 de fertilizante mineral (FMN3 e FMN4), houve reduções no número de nódulos (Tabela 3), na qual, na dose 4, também houve um decréscimo na massa seca total dos nódulos. Essas reduções refletem o efeito inibitório do nitrogênio aplicado na forma de uréia (KOUTROUBRAS et al., 1998; MENDES et al., 2003) e não foram observadas nos tratamentos com aplicação de lodo de esgoto, provavelmente, devido ao fato de que, no lodo, o nitrogênio encontra-se em formas orgânicas e necessita ser mineralizado para que as plantas possam aproveitá-lo (BOEIRA;

MAXIMILIANO, 2004). Nesse caso, o N é disponibilizado aos poucos, ao longo de todo o período de crescimento da planta e não apenas no início do desenvolvimento ou na floração, quando os nódulos estão sendo formados e a FBN atinge a sua taxa máxima (CURRIE et al., 2003). A fração de mineralização de N dos lodos de esgoto é variável conforme o material de origem e o processo de tratamento. Embora a taxa de mineralização de N do lodo de esgoto da Caesb não tenha sido determinada, Boeira et al. (2002) estimaram que apenas 31 % do N orgânico de um lodo de esgoto de origem estritamente urbana oriundo de Franca, SP, foi mineralizado após 105 dias de incubação.

Tabela 3. Nodulação, produção de matéria seca e produtividade em solo submetido à adubação com lodo de esgoto ou fertilizante mineral no primeiro e segundo anos de cultivo da soja na profundidade de 0 cm a 5 cm.

Tratamento	Nº nódulos planta ⁻¹		Massa seca de nódulos (mg planta ⁻¹)		Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	1º ano (04/05)	2º ano (05/06)	1º ano (04/05)	2º ano (05/06)	1º ano (04/05)	2º ano (05/06)
Test	81 ab	46	200 a	80	2199 e	1141 c
LDE1	75 abc	51	171 ab	110	2909 d	1504 c
LDE2	106 a	56	225 a	130	3380 bc	2401 b
LDE3	96 a	65	213 a	140	3582 abc	2532 ab
LDE4	70 abc	64	147 ab	180	3675 abc	2580 ab
FMN1	91 a	76	185 a	150	3345 c	2238 b
FMN2	75 abc	71	131 ab	150	3419 abc	2419 b
FMN3	57 bc	73	135 ab	190	3736 ab	2726 ab
FMN4	48 c	55	88 b	170	3774 a	2953 a
CV(%)	12	27 (ns)	29	29 (ns)	6	11

ns = diferenças não significativas ($p < 0,05$).

Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste Duncan (5 %).

As reduções que ocorreram na nodulação não afetaram o rendimento de grãos, uma vez que tanto o fertilizante mineral quanto o lodo de esgoto funcionaram como fontes de N (Tabela 3). Conforme esperado,

no primeiro ano, os menores valores de rendimento de grãos foram observados no tratamento testemunha (Tabela 3), onde não houve aplicação de fontes extras de nutrientes sob a forma de lodo ou fertilizante, evidenciando a baixa fertilidade natural do solo onde foi conduzido o experimento. Comparando-se as doses equivalentes de NPK entre o lodo de esgoto e o fertilizante mineral, observou-se que, apenas na dose de fertilizante equivalente a $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ de lodo (FMN1), o rendimento de grãos foi superior. Nos demais tratamentos com dosagens equivalentes, as diferenças entre o lodo e o fertilizante mineral não foram significativas, o que demonstra a eficiência do uso do lodo de esgoto da Caesb como fertilizante para a cultura da soja. Tanto para o lodo de esgoto como para o fertilizante mineral, a produtividade obtida na dose 2 não diferiu estatisticamente das doses 3 e 4.

No segundo ano do experimento, onde se avaliou o efeito residual do lodo e do fertilizante mineral, as diferenças entre os tratamentos quanto aos valores de número e massa seca de nódulos não foram significativas. Em relação ao primeiro cultivo, verificou-se uma redução acentuada na nodulação nos tratamentos testemunha e com lodo de esgoto nas doses 1, 2 e 3 (LDE1, LDE2 e LDE3) provavelmente como consequência da depleção de nutrientes. Isso também fez com que o rendimento de grãos obtido no segundo ano de cultivo fosse reduzido entre 22 % e 48 %, dependendo do tratamento. Como observado nos resultados de rendimento de grãos obtidos no primeiro ano do experimento, apenas na dose 1 a produtividade da soja com a aplicação do fertilizante mineral (FMN1) foi superior a do lodo de esgoto (LDE1). Nas demais doses, não houve diferenças entre o lodo e o fertilizante mineral, nas quais, em relação ao tratamento testemunha, o efeito residual médio desses produtos, para as doses 2, 3 e 4, resultou em incrementos no rendimento da soja da ordem de 111 %, 130 % e 142 %, respectivamente. Para o lodo de esgoto, não houve diferenças entre as doses 2, 3 e 4, entretanto, para o fertilizante mineral, a dose 4 diferiu significativamente da dose 2.

Resultados semelhantes, evidenciando o efeito benéfico da aplicação imediata e residual do lodo da Caesb, em milho e soja, foram

reportados por Lemainski e Silva (2006 a e b). Após a análise de eficiência agrônômica, esses autores também observaram que o lodo de esgoto foi, em média, 21 % (milho) e 18 % (soja) mais eficiente que as fontes minerais de nutrientes, revelando a viabilidade de sua utilização como fertilizante na produção de grãos no Distrito Federal.

Atributos biológicos do solo

As respostas dos atributos biológicos do solo à aplicação de lodo de esgoto foram analisadas pela comparação individual das médias (Tabelas 4 e 5) e pelo teste dos contrastes (Tabela 6). Apenas na segunda safra (2005/2006), quando se avaliou o efeito residual da aplicação do lodo de esgoto e do fertilizante mineral, foram observadas algumas diferenças localizadas nos atributos biológicos do solo.

Tabela 4. Carbono da biomassa microbiana do solo, carbono prontamente mineralizável e atividade das enzimas β -glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase em amostras de solo submetidas à adubação com lodo de esgoto ou fertilizante mineral no primeiro e segundo anos de cultivo da soja na profundidade de 0 cm a 5 cm.

TRAT	CBM ⁽¹⁾		C-mineralizável ⁽²⁾		β -Glicosidase ⁽³⁾		Fosfatase Ácida ⁽³⁾		Arilsulfatase ⁽³⁾	
	1º ano (04/05)	2º ano (05/06)	1º ano (04/05)	2º ano (05/06)	1º ano (04/05)	2º ano (05/06)	1º ano (04/05)	2º ano (05/06)	1º ano (04/05)	2º ano (05/06)
TEST	240	340bc	65	76	97	119bc	595	563ab	64	50
LDE1	227	255c	70	81	96	118bc	551	567ab	59	52
LDE2	198	428ab	84	96	96	130ab	507	613a	62	53
LDE3	245	523a	78	74	91	127ab	496	574ab	57	52
LDE4	230	397abc	87	68	97	115bc	491	572ab	58	50
FMN1	270	388abc	89	74	90	149a	484	584ab	55	55
FMN2	242	413ab	76	73	92	116bc	484	559ab	54	53
FMN3	201	371bc	66	73	98	101c	554	520bc	60	51
FMN4	176	369bc	74	62	101	111bc	544	461c	68	44
CV (%)	40(ns)	18	16 (ns)	27 (ns)	10(ns)	11	10 (ns)	7	10(ns)	11(ns)

¹ Valores dados em C mg kg⁻¹ no solo

² Valores dados em C mg kg⁻¹ de solo

³ Valores dados em μ g PNF g⁻¹ solo h⁻¹

ns = diferenças não significativas (p < 0,05)

Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste Duncan (5 %).

Tabela 5. Carbono da biomassa microbiana do solo, carbono prontamente mineralizável e atividade das enzimas β -glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase em amostras de solo submetidas à adubação com lodo de esgoto ou fertilizante mineral no primeiro e segundo anos de cultivo da soja na profundidade de 5 cm a 20 cm.

TRAT	CBM ⁽¹⁾		C-mineralizável ⁽²⁾		β -Glicosidase ⁽³⁾		Fosfatase Ácida ⁽³⁾		Arilsulfatase ⁽³⁾	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
TEST	318	304	80	56	86	95bc	491	656	48	55b
LDE1	270	330	88	59	89	103b	486	644	55	64ab
LDE2	298	219	92	71	84	104ab	475	697	46	59ab
LDE3	291	275	84	55	84	99b	479	660	52	56ab
LDE4	284	229	62	63	85	90bc	499	623	46	56ab
FMN1	261	178	80	81	90	119a	483	697	49	67a
FMN2	281	328	65	73	98	101b	511	613	56	53bc
FMN3	382	314	64	66	93	104ab	494	605	53	53bc
FMN4	299	224	81	69	89	82c	506	624	54	42c
CV(%)	34(ns)	32(ns)	16 (ns)	21 (ns)	9(ns)	8	8 (ns)	8 (ns)	17(ns)	12

¹ Valores dados em C mg kg⁻¹ no solo

² Valores dados em C mg kg⁻¹ de solo

³ Valores dados em μ g PNF g⁻¹ solo h⁻¹

ns = diferenças não significativas ($p < 0,05$)

Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste Duncan (5 %).

Tabela 6. Contrastes médios e suas significâncias para os indicadores biológicos, avaliados nas safras 2004/2005 (primeiro ano) e 2005/2006 (segundo ano) em um Latossolo Vermelho de Cerrado submetido, no primeiro ano de cultivo, à adubação com lodo de esgoto e fertilizante mineral. Amostras de solo coletadas nas profundidades de 0 cm a 5 cm e 5 cm a 20 cm.

TRAT	CBM ⁽¹⁾		C-mineralizável		β -Glicosidase		Fosfatase Ácida		Arilsulfatase	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
-----0 a 5 cm-----										
LDE1 X FMN1	-39	-125*	-19	7	6	-31**	67	-17	4	-3
LDE2 X FMN2	-42	14	8	23	4	14	23	54	8	0
LDE3 X FMN3	40	141	12	1	-7	26**	-58	54	-3	1
LDE4 X FMN4	49	22	13	6	-4	4	-53	111**	-10	6
LDE X FMN	2	13	3,5	9,25	-0,25	3,25	-5,25	50,5**	-0,25	1

continua...

Tabela 6. Continuação.

TRAT	CBM ⁽¹⁾		C-mineralizável		β-Glicosidase		Fosfatase Ácida		Arilsulfatase	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
-----5 a 20 cm-----										
LDE1 X FMN1	8	141*	8	-22	-1	-16*	3	-53	6	-3
LDE2 X FMN2	20	-94	27*	-2	-14	3	-36	84	-10	6
LDE3 X FMN3	-84	-33	20	-11	-9	-5	-15	55	-1	3
LDE4 X FMN4	-15	5	-19	-6	-4	8	-7	-1	-8	14**
LDE X FMN	-17,75	4,75	9	-10,25	-7	-2,5	-13,75	21,25	-3,25	5

¹Carbono da Biomassa Microbiana do Solo

** Significância a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Na análise pelo teste de Duncan, a dose 3 do lodo de esgoto (LDE3), profundidade 0 cm a 5 cm, foi o único tratamento a apresentar maior CBM que a testemunha absoluta, sendo superior também aos tratamentos com a menor dose de lodo (LDE1) e com as doses 3 e 4 (FMN3 e FMN4) de fertilizante mineral (Tabela 4). Fernandes et al. (2005), utilizando lodo de esgoto oriundo da estação de tratamento de Barueri, São Paulo, para o plantio de *Brachiaria*, observaram aumentos no CBM e no C-mineralizável com o aumento das doses de lodo de esgoto, que variaram de 8,95 t ha⁻¹ a 64,76 t ha⁻¹, bem maiores do que as doses aplicadas no presente trabalho. Assim, os aumentos do CBM e do C-mineralizável foram associados aos incrementos de matéria orgânica que ocorreram em função do aumento das doses de lodo. Em contrapartida, Sullivan et al. (2006) não observaram alterações na biomassa microbiana total como efeito da aplicação de lodo de esgoto e sugeriram que, nesse caso, houve uma rápida adaptação da microbiota do solo. Reduções nos atributos biológicos do solo, como o CBM, em função da utilização de doses de lodo contaminado com metais pesados, também são reportados na literatura (KIZILKAYA; BAYRAKLI, 2005) e evidenciam os efeitos nocivos desses elementos químicos para as comunidades microbianas. Dar (1996), por exemplo, utilizou lodo contaminado com cádmio e observou que o CBM decresceu rapidamente de acordo com o tempo de incubação e o aumento das doses de cádmio no lodo. Como o lodo de esgoto da Caesb contém

baixas quantidades de metais pesados (GONÇALVES; LUDOVICE, 2000), tais efeitos deletérios não foram observados nesse trabalho.

Na profundidade 0 cm a 5 cm, a maior dose de fertilizante mineral utilizada (FMN4), apresentou menor atividade da fosfatase ácida em comparação aos demais tratamentos (Tabela 4), o que pode ser explicado pela maior disponibilidade de P solúvel, que inibe a ação dessa enzima (TABATABAI, 1994). Além disso, a atividade da fosfatase ácida na profundidade de 0 cm a 5 cm, no segundo ano do experimento, foi o único parâmetro que apresentou significância estatística para contraste entre a aplicação de lodo de esgoto e o fertilizante mineral (contraste LDE x FMN) (Tabela 6). Observou-se, por meio desse contraste, que a atividade dessa enzima foi maior na presença do lodo de esgoto em comparação com o fertilizante mineral, em virtude da sua elevada concentração de P orgânico. Moreno et al. (1998), num experimento com lentilha e cevada, em casa de vegetação, também verificaram que a atividade da fosfatase foi maior nos tratamentos com lodo, atribuindo esse efeito à presença de substratos com fósforo orgânico que induzem a síntese dessa enzima.

A análise de contrastes revelou diferenças entre a aplicação de lodo de esgoto em relação às respectivas doses de fertilizante mineral. Houve reduções no CBM (0 cm a 5 cm) e na atividade da β -glicosidase (0 cm a 5 cm e 5 cm a 20 cm), na dose 1 (LDE1) do lodo de esgoto (Tabela 6). Ainda com relação a esse tratamento, houve aumento do CBM na profundidade de 5 cm a 20 cm. A dose 3 do lodo de esgoto (LDE3) aumentou a atividade da β -glicosidase, na profundidade 0 cm a 5 cm, enquanto a dose 4 (LDE4) aumentou a atividade da fosfatase. Na profundidade de 5 cm a 20 cm, a dose 2 do lodo (LDE2) aumentou o C mineralizável e a dose 4 (LDE4) a atividade da arilsulfatase.

Da mesma forma que o esgotamento dos nutrientes, na dose 1 do lodo de esgoto (LDE1), resultou em reduções no rendimento de grãos da soja, as reduções pontuais no CBM e na atividade da enzima β -glicosidase (profundidade 0 cm a 5 cm) também podem ser

atribuídas a escassez de substratos carbonados para as populações microbianas do solo. Essa explicação está baseada no fato de que o aumento das doses de lodo de esgoto não implicou em reduções nos atributos biológicos avaliados no presente trabalho. Trannin et al. (2004) e Crecchio et al. (2001) observaram aumentos na atividade da enzima β -glicosidase nos tratamentos que continham as maiores doses de lodo, relacionando-o ao aumento de substratos carbonados no solo. Pascual et al. (1999) e Garcia-Gil et al. (2004) também reportaram incrementos na atividade enzimática, em resposta a aplicação de lodo de esgoto. Entretanto, doses relativamente altas de lodo de esgoto ($> 20 \text{ ton ha}^{-1}$) foram empregadas nesses dois trabalhos e, portanto, seus resultados não podem ser extrapolados para muitas situações em que o lodo é aplicado apenas uma vez e em baixas quantidades.

O tipo de resposta em relação à aplicação do lodo de esgoto está associado à qualidade e quantidade do material aplicado. Os dados apresentados mostram que as doses de lodo de esgoto utilizadas não implicaram em reduções nos atributos biológicos avaliados, o que evidencia a ausência de agentes nocivos à microflora no produto da *Caesb.* Ao mesmo tempo, a ausência de incrementos generalizados nos atributos biológicos do solo, como pode ser observado na análise de contraste LDE x FMN, não significativa para todos os atributos microbiológicos a exceção da fosfatase ácida na profundidade 0 cm a 5 cm (Tabela 6), também reflete o fato de que as doses de lodo aplicadas nesse experimento não foram suficientes para aumentar o aporte de material orgânico ao solo, a ponto de estimular o crescimento de sua biomassa e a atividade microbiana.

Conclusões

A aplicação de lodo de esgoto da Caesb em doses de até 6 t ha⁻¹ não afetou significativamente a nodulação da soja.

Com exceção da dose de 1,5 t ha⁻¹, as demais doses de lodo de esgoto da Caesb (3, 4,5 e 6 t ha⁻¹) proporcionaram rendimento de grãos semelhante ao que se obteve com quantidades equivalentes de NPK no fertilizante mineral.

A aplicação de até 6 t ha⁻¹ do lodo de esgoto da Caesb não apresentou efeitos significativos no carbono da biomassa microbiana, carbono prontamente mineralizável e na atividade das enzimas β -glicosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida.

Referências

- ARAUJO, F. F. **Efeito do lodo de esgoto sobre a nutrição, nodulação e doenças da soja**. 2003. 99 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, São Paulo, 2003.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312 p.
- BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; DYNIA, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1639-1647, 2002.
- BOEIRA, R. C.; MAXIMILIANO, V. C. B. **Determinação da fração de mineralização de nitrogênio de lodos de esgoto: um método alternativo**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. (Embrapa Meio Ambiente. Comunicado Técnico,13).
- CASTILHOS, D. D.; GUADAGNIN, C. A.; SILVA, M. D.; LITZKE, V. W.; FERREIRA, L. H.; NUNES, M. C. Acúmulo de cromo e seus efeitos na fixação biológica de nitrogênio e absorção de nutrientes em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 7, p. 121-124, 2001.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 375/2006, de 29/8/2006. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano/> > . Acesso em: 29 Set. 2006.

- CRECCHIO, C.; CURCI, M.; MININNI, R.; RICCIUTI, P.; RUGGIERO, P. Short-term effects of municipal solid waste compost amendments on soil carbon and nitrogen content, some enzyme activities and genetic diversity. **Biology and Fertility of Soils**, v. 34, p. 311-318, 2001.
- CURRIE, V. C.; ANGLE, J. S.; HILL, R. L. Biosolids application to soybeans and effects on input and output of nitrogen. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 97, p. 345-351, 2003.
- DAR, H. G. Effects of cadmium and sewage-sludge on soil microbial biomass and enzyme activities. **Bioresource Technology**, v. 56, p. 141-145, 1996.
- FERNANDES, S. A. P.; BETTIOL, W.; CERRI, C. C. Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. **Applied Soil Ecology**, v. 30, p. 65-77, 2005.
- GARCÍA-GIL, J. C.; PLAZA, C.; SENESI, N.; BRUNETTI, G.; POLO, A. Effects of sewage sludge amendment on humic acids and microbiological properties of a semiarid Mediterranean soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 39, p. 320-328, 2004.
- GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A.; POGGIANI, F.; MATTIAZZO, M. E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 267-280, 2006.
- GONÇALVES, R. F.; LUDOVICE, M. Alternativas de minimização da produção e desaguamento de lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Campinas: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 25-44.
- KIZILKAYA, R.; BAYRAKLI, B. Effects of N-enriched sewage sludge on soil enzyme activities. **Applied Soil Ecology**, v. 30, p. 192-202, 2005.
- KOUTROUBRAS, S. D.; PAPAKOSTA, D. K.; GAGIANAS, A. A. The importance of early dry matter and nitrogen accumulation in soybean yield. **European Journal of Agronomy**, v. 9, p. 1-10, 1998.
- LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. Utilização do biosólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 741-750, 2006a.
- LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. Avaliação agronômica e econômica da aplicação de biosólido na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1477-1484, 2006b.
- MADARIAGA, G. M.; ANGLE, J. S. Sludge-borne salt effects on survival of *Bradyrhizobium japonicum*. **Journal of Environmental Quality**, v. 21, p. 276-280, 1992.

MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Soybean response to starter nitrogen and *Bradyrhizobium* inoculation on a Cerrado Oxisol under no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 81-87, 2003.

MORENO, J. L.; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T. Changes in organic matter na enzymatic activity of na agricultural soil amended with metal-contaminated sewage sludge compost. **Commun. Soil Science and Plant Analysis**, v. 29, p. 2247-2262, 1998.

OLIVEIRA, J. R. A.; MENDES, I. C.; VIVALDI, L. Biomassa microbiana de carbono em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 863- 871, 2001.

PASCUAL, J. A.; GARCÍA, C.; HERNANDEZ, T. Lasting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 30, p. 1-6, 1999.

REVOREDO, M. D.; MELO, W. J. Enzyme activity and microbial biomass in an Oxisol amended with sewage sludge contaminated with nickel. **Scientia Agricola**, v. 64, p. 61-67, 2007.

ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L. M.; MOURA, I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 623-639, 2004.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**: version 6. 12. ed. Cary, 1996. p. 1686.

SASTRE, I.; VICENTE, M. A.; LOBO, M. C. Influence of the application of sewage sludges on soil microbial activity. **Bioresource Technology**, v. 57, p. 19-23, 1996.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agrônômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. II - aspectos qualitativos, econômicos e práticos de seu uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 497-503, 2002a.

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**, v. 26, p. 487-495, 2002b.

SOARES, E. M. B. **Impacto de aplicações sucessivas de lodo de esgoto sobre os compartimentos de carbono orgânico em latossolo cultivado com milho**. 2005. 84 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SULLIVAN, T. S.; STROMBERGER, M. E.; PASCHKE, M. W.; IPPOLITO, J. A. Long-term impacts of infrequent biosolids applications on chemical and microbial properties of a semi-arid rangeland soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 42, p. 258-266, 2006.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P. J. (Ed). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**: part 2. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 775-833. (SSSA, Book Series, 5).

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; ARTUR, A. G. **Características microbiológicas de um solo tratado com doses crescentes de biossólido industrial**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA, 5., 2004, Lages. Fertbio 2004. Lages: SBCS, 2004. 1 CD-ROM.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 19, p. 703-707, 1987.

VIEIRA, R. F., TANAKA, R. T., SILVA, C. M. M. S. **Utilização do lodo de esgoto na cultura da soja**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 21).