

**Efeito da Utilização do Lodo de Esgoto
no Crescimento e Fixação Simbiótica do
N₂ Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**



República Federativa do Brasil

Luis Inácio Lula da Silva

Presidente

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

Roberto Rodrigues

Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Conselho de Administração

José Amauri Dimázio

Presidente

Clayton Campanhola

Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires

Dietrich Gerhard Quast

Sérgio Fausto

Urbano Campos Ribeiral

Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Clayton Campanhola

Diretor-Presidente

Gustavo Kauark Chianca

Herbert Cavalcante de Lima

Mariza Marilena T. Luiz Barbosa

Diretores-Executivos

Embrapa Meio Ambiente

Paulo Choji Kitamura

Chefe Geral

Geraldo Stachetti Rodrigues

Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Maria Cristina Martins Cruz

Chefe-Adjunto de Administração

Ariovaldo Luchiari Junior

Chefe-Adjunto de Comunicação Empresarial

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 19

Efeito do Lodo de Esgoto no Crescimento e Fixação Simbiótica do N₂ em Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)

Rosana Faria Vieira
Siu Mui Tsai
Manoel Araújo Teixeira

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP 340 - Km 127,5 - Tanquinho Velho
Caixa Postal 69 - Cep.13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: (19) 3867-8750
Fax: (19) 3867-8740
www.cnpma.embrapa.br
sac@cnpma.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Geraldo Stachetti Rodrigues
Secretário-Executivo: Maria Amélia de Toledo Leme
Secretário: Sandro Freitas Nunes
Membros: Marcelo A. Boechat Morandi, Maria Lúcia Saito, José Maria Guzman Ferraz, Manoel Dornelas de Souza, Heloisa Ferreira Filizola, Cláudio César de A. Buschinelli

Normalização bibliográfica: Maria Amélia de Toledo Leme
Foto(s) da capa: Eliana Lima
Editoração eletrônica: Alexandre Rita da Conceição

1ª edição

Todos os direitos reservados.

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

Vieira, Rosana Faria.

Efeitos do lodo de esgoto no crescimento e fixação simbiótica do N₂ em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) / Rosana Faria Vieira, Siu Mui Tsai, Manoel Araújo Teixeira. - Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004.

18 p. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio Ambiente, ISSN 1516-4675; 19)

1. Lodo de Esgoto - Uso agrícola. 2. Feijoeiro - Nutrição mineral. I. Tsai, Siu Mui. II. Teixeira, Manoel Araújo. III. Série.

CDD 631.869

Sumário

Resumo	6
Abstracts	7
Introdução	8
Material e Métodos	9
Resultados	11
Discurssão	14
Conclusões	15
Referências Bibliográficas	17

Efeito do Lodo de Esgoto no Crescimento e Fixação Simbiótica do N₂ em Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)¹

*Rosana Faria Vieira*²

*Siu Mui Tsai*³

*Manoel Araújo Teixeira*⁴

Resumo

Avaliou-se o efeito do lodo de esgoto, como fonte de N, no crescimento do feijoeiro e na eficiência da simbiose com estirpes nativas e selecionadas de rizóbio. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em um Latossolo Vermelho distroférico, com os seguintes tratamentos: ausência de adubos químicos e de lodo, adubação química completa, doses 1, 2 e 3 de lodo de esgoto, feijão inoculado com estirpes eficientes de rizóbio + adubação nitrogenada no plantio, feijão inoculado + dose 1 de lodo, feijão inoculado + dose 2 de lodo e feijão inoculado + dose 3 de lodo. A dose 1 (14,8 t ha⁻¹, na base seca) forneceu a metade do N mineral recomendado para a cultura do feijão, a dose 2 (29,6 t ha⁻¹, na base seca) e a 3 (59,2 t ha⁻¹, na base seca) forneceram, respectivamente, a quantidade de N mineral recomendada e duas vezes essa quantidade. Os maiores valores da atividade de redução do acetileno nos tratamentos com as doses 1 e 2 de lodo, em plantas que não foram inoculadas, demonstraram que a aplicação do lodo de esgoto pode aumentar a eficiência dos rizóbios nativos, quando comparados às bactérias oriundas do inoculante. Também demonstrou-se que a aplicação de fertilizante nitrogenado no feijoeiro pode ser substituída por quantidade adequada de lodo de esgoto.

¹Projeto financiado pela Fundação de Amparo à Ciência do Estado de São Paulo (FAPESP)

²Eng. Agrônoma, Doutora em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Meio Ambiente. rosana@cnpma.embrapa.br

³Eng. Agrônoma, Doutora em Solos e Nutrição de Plantas, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. tsai@cena.usp.br

⁴Biólogo, Mestre em Fitopatologia, Universidade do Vale do Sapucaí. teixeira@cnpma.embrapa.br

Sewage Sludge Effect on Growth and N₂ Symbiotic Fixation in Bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

Abstract

The effect of soil amendment with sewage sludge as N source on beans growth and native rhizobia efficiency to fix atmospheric N₂ was evaluated. The experiment was carried out in the greenhouse in a Dark Red Dystroferric Oxisol with the following treatments: no fertilization and no sludge, complete fertilization, dose 1 of sewage sludge, dose 2 of sewage sludge, dose 3 of sewage sludge, inoculated with selected strains + N at planting, inoculated + dose 1 of sewage sludge, inoculated + dose 2 of sewage sludge and inoculated + dose 3 of sewage sludge. The dose 1 (14,8 t ha⁻¹, on dry basis) furnished half of the mineral nitrogen recommended to bean culture, the dose 2 (29,6 t ha⁻¹, on dry basis) and dose 3 (59,2 t ha⁻¹, on dry basis) furnished, respectively, the amount of mineral N recommended and twice this quantity. The highest values obtained with the acetylene reduction activity with doses 1 and 2 of sludge, in plants not inoculated plants, demonstrated that soil amendment with sewage sludge may increase the native rhizobia efficiency, when compared with selected strains. It was also demonstrated that nitrogenous fertilizer application on bean culture can be substituted by appropriate amounts of sewage sludge

Introdução

Para obtenção de altas produções na cultura do feijão é necessária a aplicação de fertilizantes nitrogenados, apesar da presença de rizóbios nativos na maioria dos solos brasileiros. Isto ocorre porque, em geral, estas bactérias são ineficientes na fixação do N atmosférico (N_2). Embora estirpes altamente eficientes tenham sido identificadas, o benefício da inoculação muitas vezes não é obtido em consequência da maior competitividade com as estirpes nativas (Graham, 1981). Além disso, a ausência de sucesso da inoculação do feijoeiro tem também sido atribuída à grande sensibilidade da simbiose ao estresse ambiental, como seca, altas temperaturas (Hungria & Vargas, 2000) e baixa fertilidade do solo (Tsai, 1993).

Diante do insucesso do processo de inoculação do feijoeiro, alguns pesquisadores estão estudando formas alternativas de aumentar a fixação de N_2 nesta leguminosa. Vieira et al. (1998 a, b, c) demonstraram que os rizóbios nativos podem aumentar de eficiência quando adequadamente manejados. A aplicação foliar de molibdênio aos 25 dias após a emergência, por exemplo, aumenta a atividade da nitrogenase nas plantas, resultando em produções similares às obtidas com a aplicação de fertilizantes nitrogenados. Outra possibilidade para aumentar a eficiência dos rizóbios nativos seria a utilização de compostos orgânicos como o lodo de esgoto. Heckman et al. (1987) demonstraram que a adição de lodo ao solo pode estimular a nodulação em soja, aumentando a sobrevivência e multiplicação dos rizóbios no solo.

A aplicação de lodo de esgoto a solos agrícolas tem se tornado uma prática promissora de disposição deste composto, uma vez que, além de sua riqueza em nutrientes (Melo et al. 1994), ele afeta de forma positiva as propriedades físicas do solo (Jorge et al. 1991). Estudos sobre o efeito do lodo na fixação do N_2 são raros, principalmente considerando a cultura do feijão. Angle et al. (1992) demonstraram uma relação inversa entre o conteúdo de nitrogênio derivado do lodo e a fixação do N_2 , embora efeitos negativos sobre a nodulação não tenham ocorrido mesmo com as doses mais altas do biossólido. Vieira (2001) demonstrou que a aplicação de lodo em doses baseadas na necessidade da cultura em P pode aumentar a fixação de N_2 em soja, mesmo que a concentração de N no solo seja alta.

Considerando os problemas associados à fixação de N_2 no feijoeiro, este

trabalho teve como objetivo verificar o efeito da aplicação do lodo de esgoto, como fonte de N, no crescimento do feijoeiro e na eficiência da simbiose com estirpes nativas e selecionadas de rizóbio.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em vasos com 5 kg de solo (Latossolo Vermelho distroférico) coletado na camada de 0 – 20cm, na estação experimental da Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna, SP. O lodo de esgoto foi proveniente da Estação de Tratamento de Lodo de Barueri, SP, que, além de esgotos domésticos, recebe também esgoto industrial. As características do solo e do lodo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 Propriedades químicas do lodo de esgoto e do solo

Parâmetros	Lodo de esgoto ^a	Solo
PH _(CaCl2)		4,6
Fósforo		11 mg dm ⁻³
Potássio	1,61 g kg ⁻¹	1,9 mmol _c dm ⁻³
Sódio	402,33 g kg ⁻¹	
Cádmio	6,69 mg kg ⁻¹	
Chumbo	78,56 mg kg ⁻¹	
Cobre	746 mg kg ⁻¹	0,9 mg dm ⁻³
Cromo total	625,3 mg kg ⁻¹	
Molibdênio	11,33 mg kg ⁻¹	
Níquel	336 mg kg ⁻¹	
Zinco	2463 mg kg ⁻¹	0,8 mg dm ⁻³
MO		28g dm ⁻³
pH	5,94	
Nitrogênio Kjeldahl	33,10 g kg ⁻¹	
Nitrogênio amoniacal	1583,3 mg kg ⁻¹	
Nitrogênio nítrico	10,5 mg kg ⁻¹	
Boro	124,67 mg kg ⁻¹	0,25 mg dm ⁻³
Manganês	219,66 mg kg ⁻¹	3,5mg dm ⁻³
Ferro	26,6 g kg ⁻¹	56 mg dm ⁻³
Magnésio	3,33 g kg ⁻¹	8 mmol _c dm ⁻³
Alumínio	29,07 g kg ⁻¹	
Cálcio	27,87 g kg ⁻¹	12 mmol _c dm ⁻³
Cobalto	9,32 g kg ⁻¹	
H + Al		52 mmol _d dm ⁻³
CEC		74,1 mmol _d dm ⁻³
V		30 %

^a Conteúdo total

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, e os seguintes tratamentos: ausência de adubos químicos e de lodo (T), adubação química completa (AQ), doses 1 (L1), 2 (L2) e 3 (L3) de lodo de esgoto, feijão inoculado com estirpes eficientes de rizóbio (IR), feijão inoculado + dose 1 de lodo (IL1), feijão inoculado + dose 2 de lodo (IL2) e feijão inoculado + dose 3 de lodo (IL3). Após ensaios preliminares, para o cálculo das quantidades de lodo de esgoto a serem aplicadas, tomou-se como base uma fração de mineralização do N orgânico do biossólido de 30% (Boeira et al., 2002). Baseado nesta estimativa a quantidade de N presente no biossólido que seria potencialmente disponível para a cultura foi estimada pela fórmula (CETESB, 1999):

$$N_{disp} = 30/100 (N_k - N_{am}) + \frac{1}{2} N_{am} + N_{nit}$$

em que: N_{disp} = nitrogênio disponível em kg kg⁻¹ de lodo; N_k = nitrogênio contido no lodo de esgoto (método Kjeldahl); N_{am} = teor de N-amoniaco contido no lodo de esgoto; N_{nit} = teor de N-nítrico contido no lodo de esgoto. A dose final de lodo, na base seca, foi calculada utilizando-se a fórmula:

$$\text{dose de lodo}(\text{kg ha}^{-1}) = \text{N-recomendado}(\text{kg ha}^{-1}) / \text{N-disponível no lodo}(\text{kg kg}^{-1} \text{ de lodo})$$

A dose 1 (14,8 t ha⁻¹, na base seca) forneceu a metade do N mineral recomendado para a cultura do feijão, a dose 2 (29,6 t ha⁻¹, na base seca) e a 3 (59,2 t ha⁻¹, na base seca) forneceram, respectivamente, a quantidade de N mineral recomendada e duas vezes essa quantidade. Os vasos do tratamento AQ receberam 60kg P₂O₅ ha⁻¹, 60kg K₂O ha⁻¹ e 84kg N ha⁻¹, respectivamente, nas formas de superfosfato simples, cloreto de potássio e sulfato de amônio. O N foi aplicado de forma parcelada, no plantio e aos 15 e 30 dias após a emergência das plantas (DAE). O tratamento IR recebeu 10kg N ha⁻¹ no plantio. Os vasos suplementados com o biossólido receberam cloreto de potássio para atingir a dose recomendada de 60kg K₂O ha⁻¹, devido ao baixo teor de potássio no lodo. O pH do solo foi ajustado por meio da aplicação de 7,9 g de calcário (PRNT = 95%) por vaso.

Quatro sementes de feijão (cultivar Carioquinha) foram semeadas por vaso; após o desbaste foram deixadas apenas duas plantas. Nos tratamentos IR, IL1, IL2 e IL3 as sementes foram inoculadas com inoculante à base de turfa (1kg / 50kg de sementes).

As avaliações da atividade de redução do acetileno, número e peso dos nódulos secos, peso da parte aérea seca e quantidade em N total na parte aérea foram realizadas aos 46 e 58 dias após a emergência. No último período de avaliação as vagens foram separadas e avaliadas quanto ao peso da matéria seca e teor de N total. Os conteúdos de N mineral no solo foram medidos aos 10 DAE e depois a cada 15 dias até a colheita do feijão. Os vasos foram mantidos com a umidade em torno de 90% da capacidade de campo.

ANOVA foi utilizada para análise estatística dos dados e o teste de F para determinar interações significativas. O teste de Duncan ($P \leq 0,05$) foi utilizado para comparações entre médias.

RESULTADOS

A atividade de redução do acetileno, aos 46 DAE, foi maior nas plantas não-inoculadas que receberam as duas menores doses de lodo (Fig. 1). Nas plantas que foram inoculadas com estirpes selecionadas de rizóbio, a maior atividade de redução do acetileno foi observada no tratamento que não recebeu lodo de esgoto (IR). Na segunda colheita, aos 58 DAE, esta atividade foi baixa em todos os tratamentos.

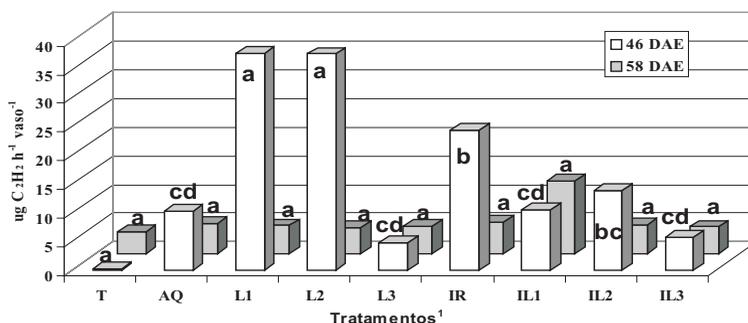


Fig. 1. Atividade de redução do acetileno em plantas de feijão cultivadas em solos com diferentes tratamentos de lodo de esgoto e inoculação. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada período, não diferem significativamente entre si (Teste de Duncan, $P \leq 0,05$).

¹Para ver significado das abreviações consultar a Tabela 2

Não houve diferenças significativas entre os tratamentos L1 e IR quanto ao número de nódulos quantificados aos 46 DAE; os valores obtidos foram, porém, maiores que os verificados nos tratamentos L2, IL1, IL2 e IL3 (Tabela 2). Embora neste período o número de nódulos do tratamento L2 tenha sido significativamente menor do que o observado no tratamento IR, não houve diferenças significativas entre os pesos dos nódulos secos. Nos tratamentos com as maiores doses de lodo (L3 e IL3) verificou-se uma resposta diferenciada no número de nódulos entre as plantas inoculadas ou não com estirpes selecionadas; um aumento da nodulação somente foi verificado no tratamento IL3. Na segunda avaliação os maiores número de nódulos foram obtidos nos tratamentos L1, L2, IL1 e IL3, seguidos pelos tratamentos IR e IL2. Neste período de avaliação, verificou-se acentuado aumento no peso dos nódulos secos em todos os tratamentos.

Tabela 2. Número e peso dos nódulos secos (mg planta⁻¹) em plantas de feijão cultivadas em solos com diferentes tratamentos de lodo de esgoto e inoculação¹.

Tratamentos	Dias após emergência			
	Número de nódulos		Peso dos nódulos secos	
	46	58	46	58
T	84,66 ef	187,00 c	21,63 d	74,00 d
AQ	134,66 de	156,66 c	169,67 c	339,10 bc
L1	390,00 ab	331,67 abc	390,47 a	569,87 a
L2	237,67 cd	278,00 abc	394,03 a	618,97 a
L3	8,67 f	197,00 c	24,73 d	253,57 cd
IR	487,33 a	205,33 bc	307,17 ab	418,30 abc
IL1	343,00 bc	381,33 ab	226,10 bc	459,93 abc
IL2	267,33 c	242,00 bc	235,80 bc	511,45 ab
IL3	277,00 c	452,67a	136,77 cd	400,85 abc

¹ T, testemunha; AQ, adubação química completa; L1, dose 1 de lodo; L2, dose 2 de lodo; L3, dose 3 de lodo; IR, plantas inoculadas; IL1, plantas inoculadas + dose 1 de lodo; IL2, plantas inoculadas + dose 2 de lodo; IL3, plantas inoculadas + dose 3 de lodo.

² Valores seguidos pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si (Duncan, P < 0,05%)

O maior conteúdo de N total na parte aérea, aos 46 DAE, foi obtido no tratamento L3, ou seja, 439,08 mg N vaso⁻¹ (Fig. 2). Somente os tratamentos T, L1, IR e IL1 apresentaram teores de N na parte aérea menores que o tratamento que recebeu adubação nitrogenada. Aos 58 DAE os maiores teores de N total na parte aérea foram obtidos nos tratamentos L1, L3 e IR. Os outros tratamentos não apresentaram diferenças significativas em relação a este parâmetro, com exceção dos tratamentos IL2 e T, que apresentaram os menores valores.

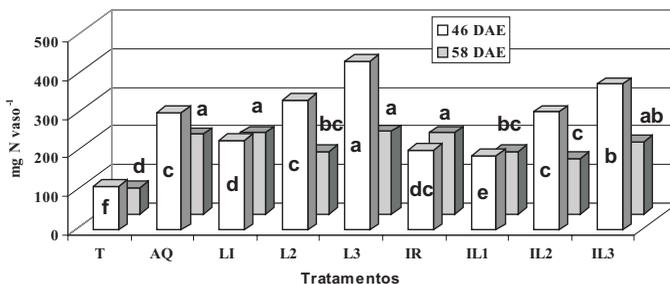


Fig. 2. Quantidade de N total na parte aérea de plantas de feijão cultivadas em solos com diferentes tratamentos de lodo de esgoto e inoculação. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada período, não diferem significativamente entre si (Teste de Duncan, $P \leq 0,05$).

¹Para ver significado das abreviações consultar a Tabela 2

Os pesos das vagens secas e o seu conteúdo em N total foram significativamente maiores nos tratamentos L2 e L3 (Tabela 3). Os tratamentos, à exceção do T, não diferiram significativamente entre si quanto a esses parâmetros.

Tabela 3. Matéria seca (g vaso^{-1}) e N total (mg vaso^{-1}) das vagens colhidas de plantas de feijão cultivadas em solos com diferentes tratamentos de lodo de esgoto e inoculação¹.

Tratamentos	Matéria seca ²	N total ²
T	2,88 c	47,11 d
AQ	11,32 b	192,01 bc
L1	10,25 b	183,23 c
L2	13,64 a	243,46 a
L3	12,95 ab	215,51 ab
IR	11,16 b	197,19 bc
IL1	9,59 b	171,08 c
IL2	11,20 b	188,29 bc
IL3	11,44 b	185,56 bc

¹Para ver significado das abreviações consultar a Tabela 2

²Valores seguidos pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si (Duncan, $P < 0,05\%$)

A adição de lodo de esgoto aumentou significativamente o conteúdo de N mineral no solo (Tabela 4); este aumento relacionou-se com a taxa de aplicação do lodo. Em média, aos 10 DAE, a dose mais baixa, intermediária e alta de lodo apresentaram, respectivamente, 27%, 57% e 98%, mais N mineral no solo que o tratamento AQ. Pelos resultados dos teores de NH_4^+ e NO_3^- , verifica-se que ocorreu um intenso processo de nitrificação do amônio oriundo da mineralização do N orgânico do lodo. Aos 25 DAE ainda se verificou uma tendência à maior quantidade de N mineral nos

tratamentos com o lodo, principalmente na maior dose. De 40 DAE em diante não mais se observou diferenças entre os teores de N mineral nos diferentes tratamentos.

Tabela 4. N mineral ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$, mg g^{-1} de solo) em solo cultivado com feijão e submetido a diferentes tratamentos de lodo de esgoto e inoculação¹.

Tratamentos ¹	Dias após a emergência da planta			
	10	25	40	55
T	42,42	33,95	15,99	1,75
AQ	52,75	22,23	25,84	4,00
L1	68,24	34,93	16,00	1,75
L2	80,25	32,95	16,50	3,75
L3	102,37	68,86	14,00	6,17
IR	53,62	29,68	13,62	3,75
IL1	65,87	41,57	16,44	3,00
IL2	85,36	47,60	15,12	3,50
IL3	107,00	49,00	16,83	3,00

¹Para ver significado das abreviações consultar a Tabela 2

DISCUSSÃO

Os maiores valores da atividade de redução do acetileno nos tratamentos L1 e L2 demonstraram que a aplicação do lodo de esgoto pode ter aumentado a eficiência dos rizóbios nativos, quando comparados às bactérias oriundas do inoculante. Isto ocorreu mesmo com a elevada concentração de N nos solos que receberam lodo, no início do desenvolvimento da cultura, embora seja conhecido que elevados conteúdos de N mineral no solo geralmente têm um efeito negativo sobre o processo simbiótico (Waterer and Vessey, 1993). As menores atividades de redução do acetileno nos tratamentos IL1 e IL2 demonstraram que as bactérias oriundas do inoculante possivelmente são mais sensíveis à presença de altas concentrações de N no solo do que as nativas. O decréscimo na atividade de redução do acetileno e também na nodulação, com a maior dose de lodo, tanto nas plantas inoculadas como nas não-inoculadas, demonstra a existência de uma quantidade máxima de N no solo, acima da qual também as bactérias nativas são negativamente afetadas. A atividade da nitrogenase obtida no tratamento IR demonstrou o grande potencial de resposta do feijoeiro à inoculação com estirpes selecionadas de rizóbio. Este tipo de resposta é, em geral, obtido sob condições controladas de experimentação, uma vez que pelo menos dois dos fatores responsáveis pelo insucesso da inoculação no campo podem ser controlados, i.e. umidade do solo e temperatura. A atividade de

redução do acetileno não foi, porém, boa medida para definir eficiência simbiótica, uma vez que o tratamento L1, em termos de produção final, ou seja, peso das vagens secas e seu conteúdo em N total, não diferiu dos tratamentos que apresentaram atividade mais baixa.

Os resultados referentes aos tratamentos L1 e L2 demonstraram, concordando com Vieira et al. (1998 a, b, c,) que os rizóbios nativos do feijoeiro podem ter a sua eficiência simbiótica aumentada, quando submetidos a um manejo adequado do solo. Os resultados dos tratamentos L1 e L2 foram similares ou maiores, respectivamente, que os obtidos nos tratamentos AQ e IR quanto à produção final (pesos das vagens secas e seus conteúdos em N total). Isto demonstra que a maior ou menor resposta das estirpes nativas à adição de lodo ao solo depende da dose do composto orgânico. Logicamente que doses excessivamente altas, como as dos tratamentos L3 e IL3, serão deletérias ao processo simbiótico, independente da origem das bactérias. Apesar da maior sensibilidade das estirpes oriundas da inoculação à presença de N no solo, a resposta dos tratamentos IL1 e IL2 quanto ao peso e conteúdo total de N nas vagens foi similar ao obtido no tratamento IR.

O elevado decréscimo de N do 10º DAE para o 25º DAE pode ser consequência do processo de desnitrificação do nitrato do solo, considerando a baixa demanda da planta em N durante este período inicial de desenvolvimento. Apesar dos vasos terem sido mantidos em condição de umidade (90 % CC), em que o meio aeróbio do solo prevalecia, hoje é bem estabelecido que a desnitrificação não é considerado um processo anaeróbio somente, podendo ocorrer em ambientes aparentemente aeróbios. A distribuição da atividade de desnitrificação em solos aeróbicos é extremamente heterogênea e, provavelmente, está associada, em grande extensão, à quantidade e localização da matéria orgânica decomponível (Christensen et al., 1990).

CONCLUSÕES

Demonstrou-se que a aplicação de fertilizante nitrogenado no feijoeiro pode ser substituída por quantidade adequada de lodo de esgoto. Como os teores de N mineral no solo praticamente não diferiram entre os tratamentos com as duas menores doses de lodo, a quantidade recomendada deste composto poderá

basear-se na metade do N necessário à cultura, evitando-se problemas ambientais oriundos da lixiviação e desnitrificação do nitrato no solo. Ficou também evidenciado que a aplicação de lodo pode estimular a nodulação e fixação simbiótica de N_2 pelas estirpes nativas de rizóbio.

Referências Bibliográficas

ANGLE, J. S.; MADARIAGA, G. M.; HEGER, E. A. Sewage sludge effects on growth and nitrogen fixation of soybean. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 41, p. 231-239, 1992.

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.

CETESB. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação** (Manual Técnico). São Paulo, 1999. 32 p. (CETESB. Norma P 4230).

CHRISTENSEN, S.; SIMKINS, S.; TIEDJE, J. M. Spatial variability in soil denitrification: Occurrence of activity centres (hot spots) as influenced by the soil environment. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, p. 1608-1613, 1990.

GRAHAM, P.H. Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L.: A review. **Field Crops Research**, v. 4, p. 93-111, 1981.

HECKMAN, J. R.; ANGLE, J. S.; CHANEY, R. L. Residual effects of sewage sludge on soybean. II. Accumulation of soil and symbiotically fixed nitrogen. **Journal of Environmental Quality**, v. 16, p. 118-124, 1987.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, v. 65, p. 151-164, 2000.

JORGE, F. A.; CAMARGO, A. O.; VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um latossolo vermelho-escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 237-240, 1991.

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 da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana de açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 449-455, 1994.

TSAI, S. M.; BONETTI, R.; AGBALA, S. M.; ROSSETTO, R. Minimizing the effect of mineral nitrogen on biological nitrogen fixation in common bean by increasing nutrient levels. **Plant and Soil**, v. 152, p. 131-138, 1993.

VIEIRA, R. F. Sewage sludge effects on soybean growth and nitrogen fixation. **Biology and Fertility of Soils**, v. 34, p. 196-200, 2001.

VIEIRA, R. F.; CARDOSO, E. J. B. N.; VIEIRA, C.; CASSINI, S. T. A. Foliar application of molybdenum in common beans. I. Nitrogenase and reductase activities in a soil of high fertility. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, p. 169-180, 1998a.

VIEIRA, R. F.; VIEIRA, C.; CARDOSO, E. J. B. N.; MOSQUIM, P. R. Foliar application of molybdenum in common beans. II. Nitrogenase and reductase activities in a soil of low fertility. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, p. 2141-2151, 1998b.

VIEIRA, R. F.; CARDOSO, E. J. B. N.; VIEIRA, C.; CASSINI, S. T. A. Foliar application of molybdenum in common beans. III. Effect on nodulation. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, p. 2153-2161, 1998c.

WATERER, J. G.; VESSEY, J. K. Effect of low ststic nitrate concentrations on mineral nitrogen uptake, nodulation, and nitrogen fixation in field pea. **Journal of Plant Nutrition**, v. 16, p. 1775-1789, 1993.