

NODULAÇÃO DE PLANTAS DE SOJA ADUBADAS COM LODO DE ESGOTO COMPOSTADO E FERTIRRIGADAS COM ÁGUA RESIDUÁRIA¹

Ana Carolina Barbosa Kummer^{1,2}, Helio Grassi Filho³, Thomaz Figueiredo Lobo⁴, Cacea Furlan Maggi⁵

RESUMO: Objetivou-se avaliar a massa seca radicular e o número de nódulos em raízes de plantas de soja (*Glycine max* L.) fertirrigadas com água residuária e adubadas com lodo de esgoto compostado em doses crescentes no solo e em substituição à adubação nitrogenada convencional. Empregou-se o delineamento experimental em parcelas subdivididas, com 14 tratamentos e 10 repetições, utilizando-se nas parcelas 2 tipos de água para irrigação: água residuária (AR) e água de abastecimento (AB) e nas subparcelas 7 níveis de adubação: T0, sem adubação nitrogenada; T1, 66 kg ha⁻¹ de N via ureia; T2, 33 kg ha⁻¹ de N via ureia + 33 kg ha⁻¹ de N via lodo de esgoto compostado (LEC); T3, T4, T5 e T6 corresponderam à 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ de N via LEC, respectivamente. Nos tratamentos sem emprego de adubação nitrogenada os resultados mostraram que a irrigação com AR elevou o número de nódulos (NNR) e a massa seca da parte radicular (MSR) das plantas de soja. O lodo de esgoto compostado (LEC) não estimulou a fixação biológica, devido às médias baixas do NNR observado nos tratamentos em que se empregaram doses elevadas do lodo, ainda mais, quando associado à irrigação com AR.

PALAVRAS-CHAVE: reúso, efluente tratado, fertilização orgânica, composto orgânico, *Glycine max* L..

NODULATION OF SOYBEAN PLANTS FERTILIZED WITH COMPOST SEWAGE SLUDGE AND FERTIRRIGATED WITH WASTEWATER

¹ Extraído de tese de doutorado.

² Profa. Doutora, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, Campus Irati, Rodovia PR 153, Km 7 s/n, Riozinho, CEP:84.500-000, Irati, PR. Fone: (42) 3421-3014. E-mail: ackummer@unicentro.br.

³ Prof. Titular, Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", UNESP, Botucatu, SP.

⁴ Prof. Doutor, Universidade do Sagrado Coração, USC, Bauru, SP.

⁵ Profa. Doutora, Universidade Federal da Fronteira Sul, UFFS, Laranjeiras do Sul, PR.

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate root dry mass and number of nodules in roots of soybean (*Glycine max* L.) plants fertigated with wastewater and fertilized with composted sewage sludge in increasing doses in the soil and replacing conventional nitrogen fertilization. We used the completely randomized design in a split plot, with 14 treatments and 10 replications, using two types of irrigation water: wastewater (WW) and drinking water (DW) and subplots 7 fertilization levels: T0, without nitrogen fertilization; T1, 66 kg ha⁻¹ of N of urea; T2, 33 kg ha⁻¹ of N of urea + 33 kg ha⁻¹ of N of composted sewage sludge (CSS); T3, T4, T5 and T6 corresponded to 66, 99, 132 and 165 kg ha⁻¹ of N of CSS, respectively. In the treatments without nitrogen fertilization the results showed that the irrigation with WW increased the number of nodules (NN) and the dry mass of the root part (DMR) of soybean plants. Composted sewage sludge (CSS) did not stimulate biological fixation, due to the low NN averages observed in treatments where higher doses of sludge were used, even when associated with irrigation with RA.

KEYWORDS: reuse, treated effluent, organic fertilization, organic compost, *Glycine max* L..

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das mais importantes culturas na economia mundial, sendo extensa a literatura sobre seu manejo (FARIAS et al., 2007; EMBRAPA, 2013). Por outro lado, existem poucas informações relacionadas ao estudo dessa oleaginosa cultivada sob adubação nitrogenada, uma vez que segundo Taiz e Zieger (2004) o N nas leguminosas é absorvido na forma de N₂ e transformado em NH₄ através do processo simbiótico com bactérias, havendo relatos de que o uso de lodo de esgoto como fertilizante pode estimular ou inibir o processo de nodulação, e mesmo assim promover elevada produtividade.

Segundo Behling et al. (2009) a elevada oferta de N mineral para as plantas de soja, pode acarretar, em alta absorção de N do solo, implicando, na redução da fixação biológica de nitrogênio, pois em condições de alta disponibilidade de N, as plantas reduzem a fixação nos nódulos. De acordo com Deninson e Harter (1995) a adição de adubos nitrogenados em leguminosas pode ter efeito adverso na fixação biológica de N devido a diminuição de disponibilidade de oxigênio na respiração nodular.

Nesse sentido é de grande importância os estudos que avaliem os efeitos decorrentes da aplicação de lodos de esgoto, ricos em N, lembrando que os efeitos nas plantas são decorrentes também da cultivar utilizada, solo, região e característica do resíduo.

Dessa forma, este estudo teve como objetivo avaliar a resposta da cultura da soja (*Glycine max* L.), em termos de massa seca radicular e número de nódulos nas raízes, à fertirrigação com água residuária e à aplicação de doses crescentes de lodo compostado no solo em substituição à adubação nitrogenada convencional.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na FCA/UNESP, campus de Botucatu/SP, em estufa agrícola não climatizada, em vasos (43L) com Latossolo Vermelho Distrófico de textura média e histórico de manejo descrito por Kummer (2013).

Empregou-se o delineamento experimental em parcelas subdivididas, com 14 tratamentos e 10 repetições, utilizando-se nas parcelas 2 tipos de água para irrigação: água residuária (AR) e água de abastecimento (AB) e nas subparcelas 7 níveis de adubação, compreendendo adubo químico e/ou lodo de esgoto compostado (LEC). O cálculo das doses de lodo empregadas em cada tratamento foi baseado na quantidade de nitrogênio (N) presente no resíduo orgânico (1,1 kg/ 100 kg), bem como na taxa de mineralização do N (30%) no primeiro ano, cujas doses estão descritas na Tabela 1.

Adubações complementares com cloreto de potássio (KCL) e superfosfato simples (ST) foram realizadas para uniformizar o solo em termos de P e K conforme recomendações de RAIJ et al. (1997).

O LEC utilizado neste experimento foi resultado da compostagem termofílica da mistura de podas urbanas, bagaço de cana-de-açúcar e casca de eucalipto com o lodo de esgoto proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos do município de Jundiaí/SP.

A irrigação das parcelas foi realizada por meio de sistema de gotejamento, utilizando gotejadores autocompensantes da Netafim (1/vaso). A água de abastecimento foi proveniente do sistema público de distribuição do município de Botucatu/SP, administrado pela SABESP. A água residuária foi oriunda da saída da Estação de Tratamento de Esgotos do mesmo município.

Tabela 1. Doses de lodo de esgoto compostado (LEC) por tratamento e o equivalente em nitrogênio (N).

| Subparcelas | Parcelas | | | | | |
|--------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------|--|-----------------------|------------------------|
| | Irrigação com água residuária (AR) | | | Irrigação com água de abastecimento (AB) | | |
| | Dose de lodo | | Quantidade de N | Dose de lodo | | Quantidade de N |
| Níveis de adubação | (g.vaso ⁻¹) | (t.ha ⁻¹) | (kg.ha ⁻¹) | (g.vaso ⁻¹) | (t.ha ⁻¹) | (kg.ha ⁻¹) |
| T0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T1 | 0 | 0 | 66* | 0 | 0 | 80* |
| T2 | 125 | 10 | 33** | 153 | 12 | 40** |
| T3 | 250 | 20 | 66*** | 305 | 24 | 80*** |
| T4 | 375 | 30 | 99 | 458 | 36 | 120 |
| T5 | 500 | 40 | 132 | 610 | 48 | 160 |
| T6 | 625 | 50 | 165 | 763 | 60 | 200 |

*100% da dose de N recomendada (LOBO et al., 2012) aplicada via ureia; **Metade da dose de N recomendada aplicada via LEC. ***100% da dose de N recomendada aplicada via LEC; T4, T5 e T6 corresponderam à 150, 200 e 250% da dose de N recomendada aplicada via LEC.

Utilizou-se a cultivar Monsoy 7211 RR, de fertilidade e porte altos, moderadamente resistente a oídio, adotando-se 8 sementes por vaso, com semeadura em 26/11/2012. As sementes foram inoculadas com Gelfix 5, inoculante para a soja da Natural Urbana. Após a emergência procedeu-se o desbaste restando 3 plantas por vaso.

Aos 97 dias após a emergência, na maturidade fisiológica da cultura, efetuou-se a colheita, com avaliações do número de nódulos da raiz (NNR) por planta e massa seca da parte radicular (MSR). Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância. Efetuou-se a análise de regressão para os tratamentos em que se utilizaram somente doses de LEC.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tanto a massa seca da parte radicular (MSR) quanto o número de nódulos da raiz (NNR) foram afetados pelos níveis de adubação nitrogenada e pela irrigação com água residuária (AR), com interação significativa entre parcela e subparcela (Tabela 2).

Analisando os tratamentos controle (T0) verificou-se que a AR favoreceu o incremento de MSR em 173% quando comparado ao T0 irrigado com AB, fato este que pode estar associado à nodulação, uma vez que o maior número de nódulos (NNR) foi observado no T0-AR em relação ao T0-AB. Provavelmente os elementos contidos no efluente (micronutrientes) e importantes nas etapas do processo simbiótico, estimularam a fixação biológica de N,

mesmo em condições de menor disponibilidade de N mineral. Em condições semelhantes, no T1, o NNR foi significativamente superior ao mesmo tratamento irrigado com AB.

Tabela 2. Resultados médios da massa seca da parte radicular (MSR) e do número de nódulos em raízes (NNR) de plantas de soja.

| Irrigação | Níveis de adubação | | | | | | |
|--|--------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Massa seca da parte radicular (g.planta ⁻¹) | | | | | | | |
| AB | 1,47 Ba | 1,45 Aa | 1,44 Aa | 1,19 Aa | 1,19 Aa | 1,01 Aa | 0,99 Aa |
| AR | 4,02 Aa | 2,01 Ab | 1,75 Ab | 1,57 Ab | 1,33 Ab | 1,40 Ab | 1,24 Ab |
| CV1(%) = 48,05; CV2(%) = 48,83; DMS1 = 0,68; DMS2 = 1,03 | | | | | | | |
| Número de nódulos na raiz (nódulos.planta ⁻¹) | | | | | | | |
| AB | 12,50 Ba | 0,90 Ba | 6,60 Aa | 6,60 Aa | 5,60 Aa | 1,00 Aa | 2,20 Aa |
| AR | 48,00 Aa | 23,10 Ab | 4,60 Ab | 1,20 Ab | 0,10 Ab | 0,10 Ab | 0,60 Ab |
| CV1(%) = 268,85; CV2(%) = 273,29; DMS1 = 19,57; DMS2 = 29,52 | | | | | | | |

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 66 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 33 kg ha⁻¹ N mineral + 33 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Comparando-se os tratamentos que receberam a mesma quantidade de N, via adubação orgânica, mineral ou pela associação de ambas (T1, T2 e T3) e independente da água utilizada para a irrigação, observa-se que não houve diferença estatística entre eles, tanto para o NNR quanto para a MSR.

Não foi observada diferença significativa entre as médias dos tratamentos T2, T3, T4, T5 e T6, tanto na parcela irrigada com AR quanto na irrigada com AB, para a MSR e NNR (Tabela 2). No entanto, a análise de regressão para a MSR não foi significativa para as médias da parcela irrigada com AB, apresentando ajuste quadrático para as médias da parcela irrigada com AR (Figura 1). Já para o NNR a análise de regressão foi significativa somente para os valores médios da subparcela (Figura 2). Nota-se comportamento semelhante entre MSR e NNR, com decréscimo nas médias em função do aumento das doses de lodo de esgoto compostado no solo, provavelmente porque o lodo teve efeito inibitório sob a formação de nódulos na planta.

Segundo Moreira e Siqueira (2006) a fixação biológica de N₂, e conseqüentemente a formação de nódulos, tendem a diminuir em função do aumento do N no solo, seja esse mineral ou orgânico. Bottomley & Myrold (2007) explicam que em suas formas minerais, NO³⁻ e NH⁴⁺, o N contido no solo, pode afetar tanto a fixação biológica, quanto a nodulação, por inibir a formação ou causar senescência dos nódulos já formados nas plantas.

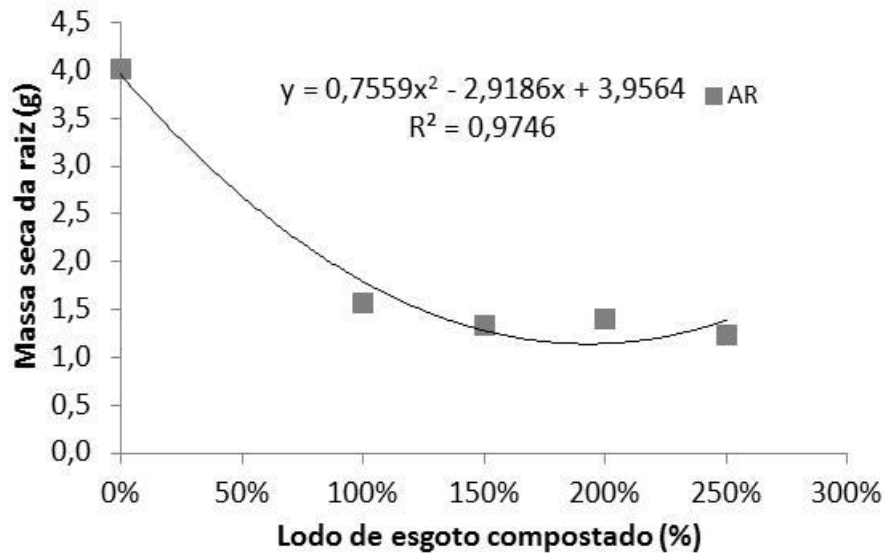


Figura 1. Massa seca da raiz (MSR) em plantas de soja em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0, 66, 99, 132 e 165 kg.ha⁻¹ de N.

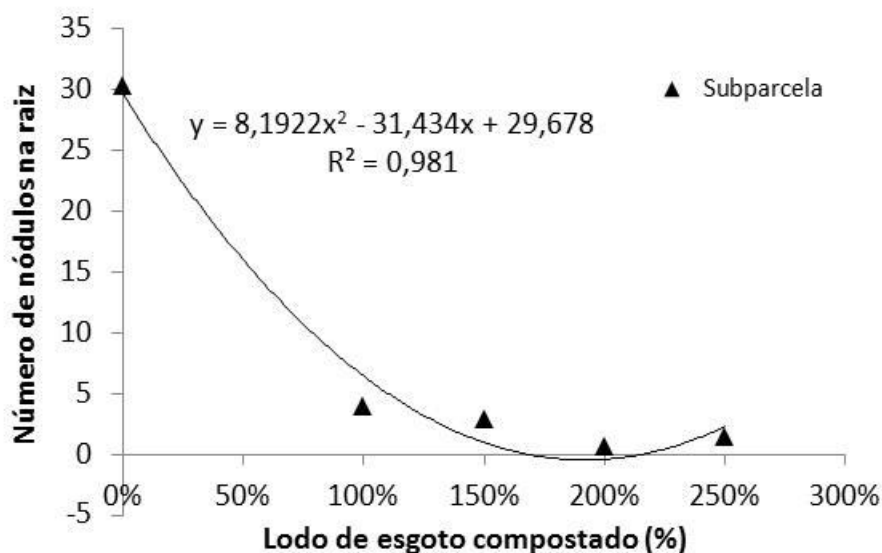


Figura 2. Número de nódulos por raiz de plantas de soja, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0, 66, 99, 132 e 165 kg.ha⁻¹ de N.

Avaliando a fixação biológica de N em plantas de soja sob doses crescentes de lodo no solo (0, 10, 20, 30 e 40 t ha⁻¹), Lobo et al. (2012) observaram acréscimo no número de nódulos até a dose de 20 t ha⁻¹, com decréscimo a partir desse valor.

Resultados semelhantes foram encontrados nesse trabalho (Tabela 2 e Figura 1), no entanto, o emprego de 200% de lodo de esgoto (equivalente a 20 t ha⁻¹ de lodo) já foi suficiente para provocar a inibição sobre o número de nódulos, provavelmente pelo efeito residual ocasionado pelas repetidas aplicações do composto orgânico em ciclos antecedentes.

Segundo Boeira e Maximiliano (2004) o N contido no lodo encontra-se nas formas orgânicas necessitando ser mineralizado para que as plantas possam aproveitá-lo; e de acordo com Behling et al. (2009) a elevada oferta de N-mineral para as plantas de soja, pode acarretar, em alta absorção de N-mineral do solo, implicando, na redução da fixação biológica de N, onde em condições de alta disponibilidade de N-mineral, as plantas não nodulam ou reduzem a fixação nos nódulos.

Na literatura é observado que os constituintes dos resíduos orgânicos podem interferir tanto na taxa de mineralização do N presente no resíduo, quanto na resposta das culturas, principalmente leguminosas, pela inibição da fixação biológica de N (BOEIRA et al. 2002; ARAUJO, 2003; BEHLING et al. 2009). Alguns trabalhos apontam ainda que o solo enriquecido com lodo de esgoto favorece e/ou estimula a fixação biológica, devido a alguns elementos presentes no lodo de esgoto (ARAUJO, 2003; VIEIRA et al. 2005; LOBO et al. 2012), uma vez que os nutrientes contidos no lodo podem ser benéficos para o crescimento microbiano, o que pode aumentar a atividade de microrganismos do solo, inclusive a dos rizóbios (ABD-ALLA et al. 1999).

CONCLUSÕES

A irrigação com água residuária (AR) promoveu aumento significativo no número de nódulos e na massa seca da parte radicular de plantas de soja nos tratamentos sem o emprego de adubação orgânica (via lodo de esgoto compostado) ou mineral.

O lodo de esgoto compostado (LEC) não estimulou a fixação biológica, devido às médias baixas do número de nódulos observado nos tratamentos em que se empregaram doses elevadas do lodo, ainda mais, quando associado à irrigação com AR.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos e ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da FCA/UNESP, Botucatu-SP, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD-ALLA, H. M.; YAN, F.; SCHUBERT, S. Effect of sewage sludge application on nodulation, nitrogen fixation, and plant growth of faba bean, soybean and lupin. *Journal of Applied Botany*, Gottingen, v. 73, n. 1, p. 69-75, 1999.
- ARAUJO, F. F. Efeito de lodo de esgoto sobre a nutrição, nodulação e controle de doenças da soja. 2003. 110 f. Tese (Doutorado) – Proteção de Plantas, Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu, 2003.
- BEHLING, M., et al. Nodulação, acúmulo de nitrogênio no solo e na planta e produtividade de soja em solo tratado com lodo de estação de tratamento de resíduos industriais. *Bragantia*, 68:453-462, 2009.
- BOEIRA, R. C., MAXIMILIANO, V. C. B. Determinação da fração de mineralização de nitrogênio de lodos de esgoto: um método alternativo. Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2004.
- BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; BYNIA, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v.37, n.11, p.1639-1647, Nov. 2002.
- BOTTOMLEY, P.J.; MYROLD, D.D. Biological N inputs. In: PAUL, E.A. (Ed.). *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. 3rd edition. Oxford: Academic Press, 2007. p.365-388.
- DENISON, R. F.; HARTE, B. L. Nitrate effects on nodule oxygen permeability and leghemoglobin: nodule oximetry and computer modeling. *Plant Physiology*, v.107, p.1355- 1364, 1995.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Soja. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Soja. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=393&cod_pai=215>. Acesso em: 21 ago. 2013.
- FARIAS, J. R.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. *Ecofisiologia da soja*. 1 ed. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2007. (Circular técnica).
- KUMMER, A.C.B. Efeito de efluente de esgoto tratado e lodo de esgoto compostado no solo e nas culturas de trigo e soja. 178 f. 2013. Tese (Doutorado) – Irrigação e Drenagem, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2013.
- LOBO, T. F. et al. Crescimento e fixação biológica do nitrogênio em soja cultivada com doses de lodo de esgoto compostado. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.33, n.4, p.1333-1342, jul./ago. 2012.
- MENDES, I. C. et al. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v.43, n.8, p.1053-1060, ago. 2008.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Fixação biológica de nitrogênio atmosférico. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: UFLA, 2006. cap. 9, p. 449-542.

RAIJ, B. Van et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/ Fundação IAC. 1997. 285p

SOUZA, C. A., et al. Lodo de esgoto em atributos biológicos do solo e na nodulação e na produção de soja. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, 44:1319-1327, 2009.

TAÍZ, L.; ZIEGER, E. Fisiologia vegetal. Trad. SANTARÉM, E.R. et al., 3º ed., Porto Alegre: Artemed, 2004, p.719.

VIEIRA, R. F. et al. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. Pesquisa agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v.40, n.9, p.919-926, set. 2005a.