



FERTBIO 2012

A responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola
17 a 21 de Setembro - Centro de Convenções - Maceió/Alagoas

Efeito da Densidade de Plantio em Soja na Nodulação, Concentração de Nutrientes e Rendimento

Marcos Javier de Luca⁽¹⁾; Mariangela Hungria⁽²⁾

⁽¹⁾ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Microbiologia, Departamento de Microbiologia/CCB; Universidade Estadual de Londrina; Londrina-PR, CEP- 86020-420; Pesquisador, Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária (Argentina); marcosjde@gmail.com; ⁽²⁾ Pesquisador, Embrapa Soja, Cx. Postal 231, 86001-970, Londrina, PR; hungria@cnpso.embrapa.br

RESUMO – Para manter a sustentabilidade dos sistemas agrícolas é importante aperfeiçoar o uso dos recursos naturais. Cerca de 87% das vagens de soja abortam antes de alcançar 2 cm de comprimento. Entretanto, maior luminosidade na parte inferior do dossel resultam num aumento na retenção de vagens e na produtividade da soja. A inoculação com *Bradyrhizobium* permite altos rendimentos da soja, dispensando o uso de N mineral, mas os resultados podem variar com a estirpe empregada. A densidade de plantio por sua vez modifica a absorção de nutrientes. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito combinado da diminuição na densidade (plantas/m²) e inoculação com duas estirpes de *B. japonicum* no rendimento, nodulação e concentração de nutrientes em folhas de soja. Para isso, realizou-se um ensaio a campo com diferentes densidades de plantio e estirpes de *B. japonicum*: 1) Testemunha sem inoculação, 04 pl./m; 2) Testemunha sem inoculação, 16 pl./m; 3) T + uréia e 04 pl./m; 4) T + uréia e 16 pl./m; 5) Inoculado com a estirpe CNPSO 2050 e 04 pl./m; 6) Inoculado com CNPSO 2050 e 16 pl./m; 7) Inoculado com SEMIA 5079 e 04 pl./m; 8) Inoculado com 5079 e 16 pl./m. As amostragens foram realizadas em V6 determinando-se número e massa seca de nódulos/planta, teores de N-P-K-Ca e Mg em folha. Na colheita foram avaliados rendimento, massa seca/grãos, número de grãos/pl, e nº de vagens com e sem grãos/pl. A diminuição do número de pl./ha não afetou a produtividade, sem que houvesse efeitos da inoculação na nodulação e na concentração de nutrientes em folhas. Entretanto, a densidade de plantio modificou os teores de P nas folhas.

Palavras-chave: numero, plantas, nutrição, grãos, nitrogênio.

INTRODUÇÃO - Como consequência de mudanças climáticas globais, são previstos aumentos na temperatura e nos períodos de seca até o final do século (Bernstein & Bosch, 2007). Por outro lado, o aumento na demanda global de alimentos tem pressões significativas sobre os recursos naturais, principalmente na produção de grãos, afetando a sustentabilidade dos sistemas de produção. Um recurso de grande importância para a produção agrícola é o nitrogênio. Cerca de 40% da composição química da

soja é de proteína, que apresenta exigências nutricionais elevadas de nitrogênio. Parte do nitrogênio pode ser fornecido pelo processo de fixação biológica de nitrogênio atmosférico (N₂) (FBN) (Hungria et al., 2006). A FBN representa uma fonte indispensável para o cultivo de soja nas condições brasileiras. Bactérias do gênero *Bradyrhizobium* infectam as raízes via pelos radiculares, formando os nódulos. Dentro destes, as bactérias, por meio de um complexo enzimático denominado nitrogenase, conseguem romper a tripla ligação entre os átomos do N₂ atmosférico e reduzi-lo a amônia (NH₃), à qual são incorporados íons H⁺, abundantes nas células das bactérias, ocorrendo a transformação em amônio (NH₄⁺). Íons amônio são então metabolizados e distribuídos para a planta hospedeira, sendo incorporados em N orgânico (Hungria et al., 2001). A fixação simbiótica de N₂ em leguminosas exige substratos de carbono provenientes da fotossíntese. Os substratos de carbono fornecem energia para a FBN e, por sua vez, também são as moléculas receptoras do N reduzido para o transporte dentro da planta (Williams et al., 1982).

A luz, além de ser importante para a atividade nodular, também pode regular a produtividade da soja. Ajustar a distância entre as linhas de uma cultura é de fundamental importância para alcançar a máxima eficiência no uso da radiação solar incidente. É necessário utilizar espaçamentos que permitam interceptar 95% da radiação fotossinteticamente ativa no início da frutificação ou, o mais tardar, no início do crescimento linear das sementes (R5). Isso melhora significativamente a taxa de crescimento da cultura (TCC), que é positivamente relacionada com o total de matéria seca em R5 (Board et al., 1990, 1992). Reduções na distância entre as linhas de semeadura, ou seja, na densidade de plantio, resultam em uma melhor distribuição das mesmas. Esta distribuição reduz a competição entre as plantas por água, nutrientes e luz solar, aumentando a radiação interceptada pela cultura e a produção de biomassa. Há etapas do ciclo da cultura que são mais críticas para a determinação do rendimento e, no caso da soja, iniciam no florescimento e se estendem até estádios avançados do ciclo reprodutivo. Taxas elevadas de crescimento durante esse período podem aumentar o número de grãos e, portanto, o rendimento da cultura (Andrade et al., 2002).

Cerca de 87% das vagens abortam antes de alcançar 2 cm de comprimento. Incrementos de luz na parte inferior do dossel da soja, onde a radiação é baixa e a abscisão de flores e vagens de pequeno porte é elevada, resultam em aumento na retenção de vagens e na produtividade de soja. Além disso, foram relatadas baixas concentrações de açúcares solúveis totais e de amido nas hastes e pecíolos nesta parte do dossel (Stockman and Shibles, 1986). Na soja, a diferença na relação de infravermelho/vermelho associada à luz aumenta rapidamente no final do dia e há trabalhos que mostram como essa relação influencia alguns aspectos do desenvolvimento da planta, como a ultra-estrutura dos cloroplastos, a partição de carboidratos para as células, a eficiência fotossintética e a concentração de vários metabólitos. Sob condições controladas, o vermelho e o infravermelho atuam através do sistema fitocromo para regular a partição entre a parte aérea e raízes (Kasperbauer, 1987).

Um aspecto importante na nutrição das plantas é o efeito da inoculação com microrganismo sobre a absorção de nutrientes. Zaidi *et al.* (2003) estudaram o efeito interativo de microrganismos rizotróficos no rendimento e absorção de nutrientes em plantas de grão de bico num solo deficiente em P disponível. Os autores concluíram que a inoculação com esses microrganismos aumentou a absorção de N e P do solo, incrementando os rendimentos.

Outra variável que deve ser levada em conta sobre a absorção de nutrientes por parte das plantas, é a densidade de plantio. Neste sentido, Dong *et al.* (2010), avaliaram os efeitos combinados de densidade de plantio (4,5 e 7,5 pl/m²) e fertilização com nitrogênio e potássio sobre a produtividade, componentes do rendimento e absorção de N, P e K em algodão cultivado em dois tipos de solo, um com baixa fertilidade e outro com alta fertilidade. Esses autores encontraram que a absorção total de nutrientes (N, P e K) por hectare foi afetada pela produção de fibras, que por sua vez foi influenciada pelas diferentes densidades de plantio no solo com baixa fertilidade.

Para manter a sustentabilidade dos sistemas agrícolas é importante aperfeiçoar o uso dos recursos naturais. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da diminuição do número de plantas/m² e da inoculação com diferentes estirpes de *B. japonicum*, na absorção de nutrientes, produtividade e nodulação da soja. A hipótese foi de que ao reduzir a densidade de pl./m² e inocular com diferentes estirpes de *B. japonicum* aumentaria o número e massa seca de nódulos e de grãos/pl., não afetando a produtividade por hectare, mas também alterando o padrão de absorção de nutrientes.

MATERIAL E MÉTODOS - O experimento foi conduzido em Londrina, PR, no campo experimental da Embrapa Soja. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférrico, classificação brasileira; Rhodic Eutrodox, classificação norte-americana. O clima local é subtropical úmido. Foi feita uma adubação de plantio (300 kg/ha NPK-00-28-20, e fertilização folhar em V4 Co (2,5 g/ha) + Mo (20 g/ha). Foi utilizada a cultivar BRS-284, semeada em 09 de novembro de 2011. Em todos os tratamentos, exceto os controles sem inoculante, foi adicionado às sementes inoculante líquido contendo as estirpes de *B. japonicum* SEMIA 5079 ou *B. japonicum*

CNPSO 2050, dependendo do tratamento, na dose de 1,2 milhões de células/semente. Também testaram-se duas densidades de plantas por hectare, uma com 4 pl./metro linear (80.000 pl/ha – baixa densidade) e outra com 16 pl./metro linear (320.000 pl/ha – densidade tradicional), ambas em linhas espaçadas de 50 cm. Os tratamentos consistiram de: 1) Testemunha sem inoculação e 04 pl./metro linear (T-4); 2) Testemunha sem inoculação e 16 pl./metro linear (T-16); 3) T+ fertilizante nitrogenado (200 kg de N/ha, fornecido como uréia, parcelados em duas aplicações) e 04 pl./metro linear, (T-4 + N); 4) T+ fertilizante nitrogenado (200 kg de N/ha, fornecido como uréia, parcelados em duas aplicações) e 16 pl./metro linear, (T-16 + N); 5) Inoculado com a estirpe CNPSO 2050 e 04 pl./metro linear (2050-4); 6) Inoculado com a estirpe CNPSO 2050 e 16 pl./metro linear (2050-16); 7) Inoculado com a estirpe SEMIA 5079 e 04 pl./metro linear (5079-4); 8) Inoculado com a estirpe SEMIA 5079 e 16 pl./metro linear (5079-16). O tamanho de cada parcela experimental foi de 4 m de largura x 10 m de comprimento. O desenho experimental foi em blocos ao acaso com seis repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas por meio do teste de “Fisher (P<0,10)”.

Tabela 1 – N° de nódulos/pl (N° nod/pl); massa seca/nod (MS/nod); massa seca nodular/pl (MS nod/pl).

Tratamentos	N° nod/pl	MS/nod (g)	MS nod/pl (g)
T-4	39,41 a ¹	0,0046 a	0,1807 a
T-16	34,60 ab	0,0045 a	0,1557 ab
T-4 + N	27,86 bc	0,0029 b	0,0834 c
T-16 + N	24,86 c	0,0033 b	0,0854 c
2050-4	25,21 c	0,0049 a	0,1239 b
2050-16	28,52 bc	0,0047 a	0,1382 b
5079-4	31,23 bc	0,0050 a	0,1546 ab
5079-16	30,72 bc	0,0045 a	0,1406 b

1) Testemunha sem inoculação, 04 pl./metro linear (T-4); 2) Testemunha sem inoculação, 16 pl./metro linear (T-16); 3) T + fertilizante nitrogenado, 04 pl./metro linear, (T-4 + N); 4) T + fertilizante nitrogenado, 16 pl./metro linear, (T-16 + N); 5) Inoculado com a estirpe CNPSO 2050, 04 pl./metro linear (2050-4); 6) Inoculado com a estirpe CNPSO 2050, 16 pl./metro linear (2050-16); 7) Inoculado com a estirpe SEMIA 5079, 04 pl./metro linear (5079-4); 8) Inoculado com a estirpe SEMIA 5079, 16 pl./metro linear (5079-16). ¹ Letras distintas indicam diferenças significativas (Teste de Fisher, p<0,10; significância exigida para recomendação de tecnologias pelo MAPA).

Foram realizadas duas coletas durante o ciclo da cultura, em V6 e na maturação fisiológica. Nas amostras de V6 obtiveram-se massa seca por nódulo, número e massa de nódulos/pl, e teores de N-P-K-Ca e Mg, expressos em g/kg de massa seca de folha. Para o diagnóstico nutricional, amostraram-se 30 folhas recém maduras por parcela. Na colheita foram avaliados produtividade (corrigida para 13% de umidade) (kg/ha), massa seca/grão (mg) (corrigida para 13% de umidade), número de vagens com sementes/pl, número de vagens sem sementes/pl e o número de grãos/pl.

RESULTADOS E DISCUSSÃO - Na avaliação dos parâmetros de nodulação (Tabela 1), observou-se que no n° nod/pl não diferiu entre os tratamentos de baixa

densidade e densidade tradicional. Esses dados não concordam com Kapustka and Wilson (1990) que encontraram que o aumento da densidade de plantio de soja reduziu o número e massa de nódulos por planta, mas manteve uma alta atividade específica por massa nodular, o que resultou nos mesmos valores de FBN por planta. A MS/nod foi maior nos tratamentos de baixa densidade. A massa nodular por planta, não diferiu significativamente entre os tratamentos, salvo nos que se aplicou uréia. Provavelmente por causa do stress hídrico (Tabela 2) sofrido pela cultura até o momento da amostragem, em V6, houve diminuição do fornecimento tanto de exsudatos radiculares capazes de promover o crescimento de rizóbios na rizosfera para a infecção das raízes, como de fontes de carbono para a formação e funcionamento dos nódulos.

Tabela 2 – Resumo das precipitações pluviométricas durante o período semeadura-amostragem em V6.

	Precipitações (mm)	
	média 10	safrá
	anos	2011-2012
Novembro	136,33	102,9
Dezembro	145,56	47,7
Déficit acumulado		-131,29

Em relação à concentração de nutrientes nos tecidos foliares, observou-se que os tratamentos com uréia, 3 e 4, foram os que apresentam maior teor de N enquanto que o tratamento de baixa densidade, 7, foi o menor. Os tratamentos de baixa densidade de plantas resultaram em aumento nos teores de P. Os demais nutrientes, Ca, K, e Mg, não apresentam variações definidas que permitam descrever padrões de distribuição característicos segundo tratamento (Tabela 3). Esses dados não concordam com os obtidos por Bennie *et al.*, (1982), que estudaram a absorção, acumulação e translocação de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, B, Cu e Zn) em soja semeada a diferentes espaçamentos (0,25 m. e 1,0 m. entre linhas e 16000 pl/ha nos dois casos). Nesse caso, o espaçamento entre linhas não afetou a concentração de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu ou Zn nas folhas imediatamente antes da floração (79 dias após semeadura).

Nos parâmetros de rendimento, como observado em experimentos anteriores (dados não mostrados), nos tratamentos de baixa densidade (80.000 pl/ha) o número de vagens com sementes por planta aumentou significativamente em relação aos de densidade tradicional (320.000 pl/ha), o que permitiu manter o rendimento sem diferenças significativas entre tratamentos. Quando se analisou o número de vagens sem semente por planta, as diferenças entre baixa densidade e densidade tradicional continuam mas não foram tão marcantes (Tabela 4), embora tenha havido deficiência hídrica até o final da cultura, acumulando um déficit hídrico de 260 mm, o que explica os baixos rendimentos.

Tabela 3 – Conteúdo de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) em folhas, amostragem em V6.

Tratamento	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)
T-4	36,0b ¹	3,6bc	20,9d	8,2b	3,0bc
T-16	37,6ab	3,2d	21,9cd	7,7b	2,9cd
T-4 + N	42,3a	3,8b	21,9cd	7,8b	3,1bc
T-16 + N	41,7a	3,6bc	24,5abc	6,7c	2,8d
2050-4	39,2ab	4,3a	23,1bcd	9,1a	3,5a
2050-16	39,9ab	3,4cd	22,8bcd	8,2b	3,1b
5079-4	30,1c	3,7bc	24,7ab	8,3b	3,0bc
5079-16	39,3ab	3,3d	25,6a	7,8b	3,9bc

1) Testemunha sem inoculação, 04 pl./metro linear (T-4); 2) Testemunha sem inoculação, 16 pl./metro linear (T-16); 3) T + fertilizante nitrogenado, 04 pl./metro linear, (T-4 + N); 4) T + fertilizante nitrogenado, 16 pl./metro linear, (T-16 + N); 5) Inoculado com a estirpe CNPSO 2050, 04 pl./metro linear (2050-4); 6) Inoculado com a estirpe CNPSO 2050, 16 pl./metro linear (2050-16); 7) Inoculado com a estirpe SEMIA 5079, 04 pl./metro linear (5079-4); 8) Inoculado com a estirpe SEMIA 5079, 16 pl./metro linear (5079-16). ¹Letras distintas indicam diferenças significativas (Teste de Fisher, p<0,10; significância exigida para recomendação de tecnologias pelo MAPA).

Tabela 4 – Parâmetros de rendimento; n° de vagens com grão/pl, n° de vagens sem grão/pl, n° de grãos/pl, massa seca por grão (MS/grão), e rendimento (kg/ha).

Tratam.	N°		N° grãos/pl	MS/grão (mg)	kg/ha
	vagens com grão/pl	vagens sem grão/pl			
T-4	143,1ab ¹	12,6ab	295,6b	90,3a	1400a
T-16	57,9c	3,7d	121,7c	95,3a	1600a
T-4 + N	161,9a	15,8a	353,5a	91,9a	1511a
T-16 + N	64,1c	8,5bcd	121,7c	92,7a	1451a
2050-4	138,0b	10,3abc	323,1ab	88,8a	1383a
2050-16	53,5c	6,0cd	129,3c	91,9a	1601a
5079-4	126,1b	8,4bcd	290,1b	88,9a	1473a
5079-16	56,8c	9,8abc	119,4c	90,8a	1382a

1) Testemunha sem inoculação, 04 pl./metro linear (T-4); 2) Testemunha sem inoculação, 16 pl./metro linear (T-16); 3) T + fertilizante nitrogenado, 04 pl./metro linear, (T-4 + N); 4) T + fertilizante nitrogenado, 16 pl./metro linear, (T-16 + N); 5) Inoculado com a estirpe CNPSO 2050, 04 pl./metro linear (2050-4); 6) Inoculado com a estirpe CNPSO 2050, 16 pl./metro linear (2050-16); 7) Inoculado com a estirpe SEMIA 5079, 04 pl./metro linear (5079-4); 8) Inoculado com a estirpe SEMIA 5079, 16 pl./metro linear (5079-16). ¹Letras distintas indicam diferenças significativas (Teste de Fisher, p<0,10; significância exigida para recomendação de tecnologias pelo MAPA).

CONCLUSÕES – A diminuição do número de plantas por hectare não afeta a produtividade de grãos. Não houve efeitos da inoculação com diferentes estirpes de *B. japonicum* na nodulação e na concentração de nutrientes em folhas, mas houve efeito da densidade de plantas no teor de P foliar.

AGRADECIMENTOS – INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária – Argentina), Embrapa soja, Universidade Estadual de Londrina.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F.H.; CALVIÑO, P.; CIRILO, A. and BARBIERI, P. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. *Agron. J.* 94: 975-980, 2002.

- BENNIE A.T.P., MASON W.K., TAYLOR H.M. Responses of soybean to two row spacings and two soil water levels, III: Concentration, accumulation and translocation of 12 elements. **Field Crops Research** 5:31-43, 1982.
- BOARD, J.; HARVILLE, B.G.; SAXTON, A. Branch and dry weight in relation to yield increase in narrow-row soybean. **Agron. J.** 82: 540-544, 1990.
- BOARD, J., KAMAL, M.; HARVILLE, B.G. Temporal importance of greater light interception to increased yield in narrow-row soybean. **Agron. J.** 84: 575-544, 1992.
- BERNSTEIN, L.; BOSCH, P. Climate Change -2007: Synthesis Report. Valencia, España, **Intergovernmental Panel on Climate Change**: 1-52, 2007.
- DONG H., KONG X., LI W., TANG W., ZHANG D. Effects of plant density and nitrogen and potassium fertilization on cotton yield and uptake of major nutrients in two fields with varying fertility. **Field Crops Research** 119:106-113. 2010
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES I.C. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. Londrina: Embrapa Soja, 48p. (**Embrapa Soja. Circular Técnica, 35; Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 13**). 2001.
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; CAMPO, R.J.; CRISPINO, C.C.; MORAES, J.Z.; SIBALDELI, R.N.; MENDES, I.C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ and of fertilizer to grains yield. **Can. J. Plant Sci.** 86(4): 927-939, 2006.
- KAPUSTKA, L.A.; WILSON K.G. The influence of soybean planting density on dinitrogen fixation and yield. **Plant and Soil**, 129: 145-156, 1990.
- KASPERBAUER, M.J. Far-red light reflection from green leaves and effects on phytochrome-mediated assimilate partitioning under field conditions. **Plant Physiol.** 85: 350-354, 1987.
- STOCKMAN, M.; SHIBLES, R. Soybean pod and flower abscission as influenced by carbohydrate supply during flowering. **Iowa State J. Res.** 61(1): 35-48, 1986.
- WILLIAMS, L.E.; DEJONG, T.M.; PHILLIPS, D.A. Effect of changes in shoot carbon-exchange rate on soybean root nodule activity. **Plant Physiol.** 69: 432-436, 1982.
- ZAIDI A.; KHAN M.S.; AMIL M. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). **European Journal of Agronomy** 19:15-21. 2003.