

ADUBAÇÃO NITROGENADA ASSOCIADA À INOCULAÇÃO DE *Bradyrhizobium japonicum* PODE AUMENTAR A PRODUTIVIDADE E O TEOR DE PROTEÍNAS DE GRÃOS DE SOJA?

Alan Mario Zuffo¹

Rafael Felipe Ratke²

Jorge González Aguilera³

Fábio Nogueirol dos Santos Filho⁴

Lidiane Arissa Yokota⁵

Denise Batista de Moraes⁶

RESUMO: A suplementação com nitrogênio (N) mineral com diferentes fontes pode incrementar a produtividade e o teor de proteínas dos grãos de soja. Objetivando-se determinar a resposta da soja a fontes e doses de N, associada à inoculação de *Bradyrhizobium japonicum*, dois experimentos foram conduzidos em Latossolo Vermelho no Cerrado brasileiro, durante a safra 2018/2019. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, disposto em esquema fatorial $2 \times 2 \times 5$, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por dois ambientes (UFMS 1 e UFMS 2), duas fontes de nitrogênio (ureia: 45% de N e sulfato de amônio: 21% de N) e cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N) aplicados no pleno florescimento (estádio R₂). Na formação do legume (estádio R₃) foram avaliadas a altura das plantas, teor de clorofila, área foliar e matéria seca aérea. Na colheita foram determinados a inserção do primeiro legume, número de legume, número de grãos por legume, massa de mil grãos, produtividade e o teor de proteínas dos grãos. A adubação não incrementou os componentes de produção, produtividade e o teor de proteína dos grãos, independentemente das fontes e doses de N na aplicação. Por isso, conclui-se que as estirpes de *B. japonicum* são eficientes

¹ Doutor em Agronomia, docente visitante do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Chapadão do Sul (MS) Brasil. E-mail: alan_zuffo@hotmail.com

² Doutor em Agronomia, docente colaborador do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Chapadão do Sul (MS) Brasil.

³ Doutor em Agronomia, docente visitante do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Chapadão do Sul (MS) Brasil.

⁴ Graduando em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Chapadão do Sul (MS) Brasil.

⁵ Graduando em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Chapadão do Sul (MS) Brasil.

⁶ Mestre em Agronomia no Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Bom Jesus (PI) Brasil.

para a nutrição de soja cultivada em solo de média a alta fertilidade, não havendo necessidade de se aplicar nitrogênio durante o pleno florescimento.

PALAVRAS-CHAVE: Fixação biológica de nitrogênio; *Glycine max* (L.) Merrill; Sulfato de amônia; Ureia.

DOES NITROGEN FERTILIZATION ASSOCIATED TO INOCULATION OF *Bradyrhizobium japonicum* INCREASE PRODUCTIVITY AND PROTEIN RATES OF SOYBEAN?

ABSTRACT: Supplementation with mineral nitrogen (N) with different sources may increase production and protein rates of soybeans. Two experiments were conducted in red Latissol in the Brazilian savannah during the 2018-2019 harvest to determine soybean response to N sources and doses, associated with the inoculation of *Bradyrhizobium japonicum*. Experimental design featured randomized blocks in the factorial scheme $2 \times 2 \times 5$, with four replications. Treatments consisted of two sites (UFMS 1 and UFMS 2), two N sources (urea: 45% of N and ammonium sulfate: 21% of N) and five doses of nitrogen (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹ of N) applied in full flowering (stage R₂). In the formation of the legume (stage R₃) height of plant, chlorophyll rate, leaf area and aerial dry matter were evaluated. Harvest comprised insertion of the first legume, number of legumes, number of grains per legume, mass of one thousand grain, productivity and protein rate of grains. Fertilization failed to increase the production components, productivity and the protein rates of grains, regardless of N sources and doses in the application. Consequently, strains of *B. japonicum* are efficient for the nutrition of soybean cultivated in medium and high fertility soil, without any need for N during full flowering.

KEY WORDS: Biological Fixation of nitrogen; *Glycine max* (L.) Merrill; Ammonium sulfate; Urea.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma oleaginosa que tem alta quantidade de proteína na semente (36-40%) e teor de óleo (18-20%) (LIMA *et al.*, 2015). Por ter alto valor de proteínas nos grãos, a soja necessita de grandes quantidades de nitrogênio (N), segundo Kaschuk *et al.* (2016) cerca de 80 kg de N para produzir uma tonelada de grãos. As maiores taxas de demanda de N estão no início do

enchimento dos legumes (KASCHUK *et al.*, 2010; HUNGRIA; MENDES, 2015) e são geralmente cumpridos por fixação biológica de nitrogênio (FBN) pela simbiose com *Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium elkanii* (DOMINGOS *et al.*, 2015), além da absorção de N do solo (ZUFFO *et al.*, 2018).

No Brasil, o avanço nos investimentos e nas técnicas de manejo proporcionou maiores produtividades na cultura da soja (KORBER *et al.*, 2017). Todavia, geralmente o aumento da produtividade de soja (cerca de 3.000 kg ha⁻¹) não tem proporcionado níveis de proteínas no farelo compatíveis com o padrão exigido pelo mercado internacional, cerca de 47% (SEDIYAMA, 2016). Para Silva *et al.* (2015) o teor de proteína nos grãos de soja pode ser afetado pelas condições climáticas, tipo de solo, práticas de manejo de culturas, características genótípicas e estresse hídrico. Portanto, a complementação com o N mineral pode ser uma alternativa para aumentar o teor de proteína nos grãos da soja. Sabe-se que o N é componente responsável por várias reações nas plantas, além de fazer parte da estrutura da clorofila, de enzimas e proteínas (TAIZ *et al.*, 2017).

Na literatura há resultados de pesquisas recentes que mostraram que a aplicação de fertilizantes nitrogenados não melhora o rendimento de grãos (KORBER *et al.*, 2017; ZUFFO *et al.*, 2018). Para Oliveira Neto *et al.* (2019) a resposta da cultura da soja à adubação nitrogenada é variável às condições em que foram conduzidos os experimentos, não sendo possível chegar a conclusões mais abrangentes quanto a essa prática cultural. Por outro lado, outras pesquisas mostraram que a aplicação de N pode melhorar o crescimento de plantas e o rendimento de grãos das culturas (PARENTE *et al.*, 2015; BARRANQUEIRO; DALCHIAVON, 2017; MORENO *et al.*, 2018). Sendo assim, a aplicação complementar de N pode ser viável, como verificaram Petter *et al.* (2012), que ao avaliarem o efeito da aplicação de doses de N no estágio R₁ (início do florescimento) em cultivares da soja, notaram ganhos em produtividade dos grãos, sendo que a máxima eficiência agrônômica e econômica foi obtida com doses em torno de 30 kg ha⁻¹. Portanto, além de incrementar a produtividade dos grãos, a aplicação de N também pode aumentar os teores de proteínas nos grãos.

Em relação ao contraste entre os resultados da produtividade da soja em relação à adubação nitrogenada em cobertura pode estar atribuída a eficiência da simbiose, cultivares, época de semeadura, fonte de N, tipo de solo e fatores climáticos (ARATANI *et al.*, 2008). Assim, são importantes informações sobre a utilização de N,

em função de fontes e ambientes de produção na cultura da soja e se este nutriente promove incremento na produtividade e no teor de proteínas dos grãos. Haja vista que a FBN pode não ser suficiente para atender a demanda exigida pela cultura, e em função de resultados contraditórios com o uso de fertilizantes nitrogenados, novas pesquisas devem ser conduzidas no sentido de maximizar a eficiência da FBN, visando o suprimento de maiores produtividades com esse processo de simbiose e evitando assim o uso desnecessário de fertilizantes (PETTER *et al.*, 2017).

Assim, a soja tem sua importância, pois é a principal fonte de óleo comestível da população brasileira, além de ser fonte de proteína de menor custo (ARATANI *et al.*, 2008). A suplementação com N mineral com diferentes fontes pode incrementar a produtividade e o teor de proteínas dos grãos de soja. Este estudo teve como objetivo avaliar a resposta da soja a fontes e doses de N, associada à inoculação de *B. japonicum*. Para isso, dois experimentos foram conduzidos em Latossolo Vermelho do Cerrado brasileiro, durante a safra 2018/2019.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Os experimentos foram realizados em área experimental da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, denominadas de UFMS 1 e UFMS 2, em Chapadão do Sul (MS), Brasil (18°46'17,9 Sul; 52°37'25,0" Oeste e altitude média de 810 m), durante a safra 2018/2019. O clima da região, segundo classificação de Koppen, é do tipo tropical chuvoso (Aw), com verão chuvoso e inverno seco, com precipitação, temperatura média e umidade relativa anual de 1.261 mm; 23,97 °C e 64,23%, respectivamente. Os dados de precipitação durante a condução dos experimentos são mostrados na Figura 1.

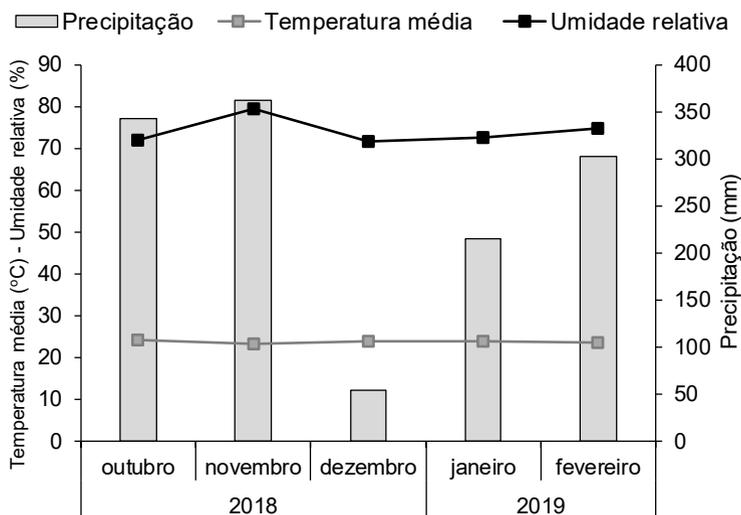


Figura 1. Médias mensais da temperatura, umidade relativa do ar e o acúmulo da precipitação pluviométrica, ocorridas em Chapadão do Sul (MS) na safra 2018/19, durante o ciclo da soja. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os solos das áreas experimentais foram classificados como Latossolo Vermelho baseado no Sistema Brasileiro de Classificação do solo (SANTOS, 2018). Antes de iniciar o experimento, os solos foram amostrados nas camadas 0-0,20 m e as principais propriedades químicas são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Principais propriedades químicas dos solos utilizados no experimento

Ambiente	pH	MO	P _{Mehlich} ⁻¹	H+Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CTC	V
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³						%
UFMS 1	4,3	22,8	12,8	5,7	0,37	2,20	0,40	0,27	8,6	33,5
UFMS 2	4,8	23,2	8,6	3,5	0,02	3,10	1,80	0,29	8,7	59,8

MO: Matéria orgânica. CTC: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. V: Saturação de bases.

A correção da acidez do solo foi realizada com a aplicação superficial de calcário (CaO: 29%; MgO: 20%; PRNT: 90,1%; PN: 101,5%), visando elevar a saturação por base dos solos a 60%. A calagem foi realizada 60 dias antes da implantação do experimento. Utilizou-se o método de saturação por bases para cálculo da dose de calcário, para elevar a saturação para 50%, seguindo as recomendações de Sousa;

Lobato (2004), dessa forma foi aplicado 0,4 t ha⁻¹, deste calcário, considerando o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT).

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, disposto em esquema fatorial 2 × 2 × 5, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por dois locais (UFMS 1 e UFMS 2), duas fontes de nitrogênio (ureia: 45% de N e sulfato de amônio: 21% de N) e cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N) aplicados no pleno florescimento (estádio R₂). Cada unidade experimental foi constituída por sete fileiras espaçadas em 0,45 m entre si e com 5 m de comprimento, totalizando 15,75 m². Como área útil, foram consideradas as três linhas centrais, tendo-se desprezado 1 m em cada extremidade, perfazendo uma área de 4,05 m². Para a aplicação dos tratamentos, foram realizadas distribuições manuais a lanço.

2.3 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O preparo da área foi realizado com uma dessecação usando os produtos Glifosato (720 g ha⁻¹ e.a) + Haloxifop-P-metílico (63 g ha⁻¹ i.a). Após 10 dias foi realizada a instalação dos ensaios que seguiu o sistema de plantio direto (SPD). A cultura da soja cultivar BRASMAXBONÛSIPRO (hábito de crescimento indeterminado, ciclo de 114 a 121 dias, grupo de maturação 7,9) foi semeada no dia 4 de outubro de 2018 mecanicamente por meio de semeadora-adubadora, com mecanismo sulcador tipo haste (facão), para SPD, a uma profundidade de aproximadamente 3 cm, com espaçamento de 0,45 cm e 13 sementes por metro, para atingir estande final de 24.000 a 28.000 plantas por hectare. A adubação de base foi constituída de 150 kg ha⁻¹ de MAP (11% de N-amoniaco e 52% de P₂O₅). A adubação de cobertura foi 100 kg ha⁻¹ de K₂O, cuja fonte foi o cloreto de potássio aos 40 dias após a emergência (DAE). Aos 40 DAE realizou-se a aplicação de adubação foliar dos produtos Actilase ZM (Zn 50,22 g L⁻¹; S 41,65 g L⁻¹; Mn 30,01 g L⁻¹) e Racine (Mo 108,75 g L⁻¹; Co 10,88 g L⁻¹; Carbono total 123,25 g L⁻¹) nas doses de 1 L ha⁻¹ e 120 mL por ha⁻¹, respectivamente.

As sementes de soja foram tratadas com piraclostrobina + tiofanato metílico + fipronil (Standak Top[®]) na dose de 2 mL p.c. kg⁻¹ de semente; foram inoculadas com *B. japonicum*, utilizou-se o inoculante comercial líquido Simbiose Nod Soja[®] (Simbiose: Agrotecnologia Biológica) contendo as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 (concentração mínima de 7,2 x 10⁹ células viáveis por mL), na dose de 150 mL para 50 kg de sementes. A quantidade de inoculante utilizada foi dissolvida em uma solução contendo 2 mL p.c. kg⁻¹ de semente de aditivo para inoculante Protege[®] TS (Total Biotecnologia) e, então, ambos os produtos (inoculante + aditivo) foram aplicados nas sementes. O aditivo para inoculante é constituído de metabólitos ativos de bactérias, complexo de açúcares e biopolímeros encapsulantes e tem a finalidade de melhorar a proteção e a viabilidade das bactérias sobre as sementes. Para potencializar a nodulação da soja, as sementes também receberam a aplicação de micronutrientes, especialmente de molibdênio. A fonte utilizada foi o fertilizante comercial para sementes Nódulus[®] Premium 125 (Biosoja) contendo: Mo, 10%; Co, 1%; S, 1%; Ca, 1%; Fe, 0,2%.

Durante o desenvolvimento das plantas, para o manejo de plantas daninhas, pragas e doenças foram utilizados os produtos: glifosato, haloxifope-p-metílico, piraclostrobina + epoxiconazol, picoxistrobina + benzovindiflupir, mancozeb, azoxistrobina + ciproconazole, teflubenzurom, clorpirifós, cipermetrina e imidacloprido + beta-ciflutrina.

2.4 MENSURAÇÃO DAS AVALIAÇÕES

Na formação do legume (estádio R₃) foram avaliadas em cinco plantas por parcela: altura das plantas (cm) - determinada da superfície do solo até a inserção da última folha com auxílio de uma régua milimetrada; teor foliar de clorofila - (índice de clorofila Falker, ICF) com clorofilômetro digital CFL 1030, (Falker, Porto Alegre, RS) as leituras foram realizadas no terceiro trifólio desenvolvido de cima para baixo (folha diagnóstico); área foliar (cm²) com o auxílio de um medidor de área foliar eletrônico modelo Li-Cor, LI-3100[®]; matéria seca aérea (g planta⁻¹) - as plantas foram acondicionadas em sacos de papel, colocadas para secar em estufa a 65 °C por 72 horas e, posteriormente, pesadas em balança analítica com precisão de 0,0001 g.

Por ocasião da colheita (estádio R₅) foram obtidos em cinco plantas por parcela as seguintes variáveis: altura de inserção do primeiro legume (cm) - determinada da superfície do solo até a inserção do primeiro legume; número de legume e número de grãos por legume (unidade) - por meio da contagem manual; massa de mil grãos (g) - de acordo com a metodologia descrita em Brasil (2009); produtividade de grãos (kg ha⁻¹) - determinada com a colheita da área útil da parcela e padronizada para o grau de umidade dos grãos de 13%; teor de proteína bruta pelo método de Kjeldahl conforme Detmann *et al.* (2012).

2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados experimentais foram submetidos aos testes de verificação dos pressupostos de normalidade e homogeneidade. Posteriormente, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) conjunta que foi realizada adotando o modelo estatístico e o procedimento de análise semelhante ao apresentado por Ramalho *et al.* (2012), e quando significativas as médias dos fatores qualitativos (local e fontes de N) foram comparadas pelo teste F de Fisher-Snedecor, ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico Sisvar[®] versão 5.3 para *Windows* (*Software* de Análises Estatísticas, UFLA, Lavras, MG, BRA). Para o fator quantitativo (doses), foi utilizada a análise de regressão e as equações significativas pelo teste t de Student com os maiores coeficientes de determinação (teste F, $p < 0,05$) foram ajustadas. A análise de regressão foi realizada usando o *software* SigmaPlot 11.0 para *Windows* (Systat Software, Inc., San José, CA, EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância não mostraram efeitos significativos ($p > 0,05$) para as interações entre os fatores estudados (ambientes, fontes e doses de N) para nenhuma das características avaliadas (Quadro 2). Portanto, os resultados são apresentados separadamente para os principais efeitos desses fatores. A ausência das interações significativas entre os fatores estudados indica que a adubação

nitrogenada apresenta resposta coincidentes na cultura da soja, independentemente do ambiente de produção e da fonte de N.

Quadro 2. Valores de probabilidade do teste F da análise de variância para caracteres agrônômicos associados à morfologia e componentes de produção da cultura da soja, obtidas no ensaio com fontes e doses de aplicação do fertilizante nitrogenado na soja durante a safra 2018/2019. Chapadão do Sul (MS), Brasil

Fontes de variação	APFL	CLO	AF	MSA	AIPL	NLP	NGL	MMG	PROD	TPG
Ambiente (A)	<0,01	0,011	<0,01	<0,01	0,018	<0,01	0,279	0,974	<0,01	0,310
Fonte (F)	<0,01	0,613	0,117	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,067	0,783	0,270
Dose (D)	0,011	0,657	<0,01	0,012	0,262	0,189	0,729	0,322	0,166	0,840
Interação (A×F)	0,446	0,484	0,764	0,180	0,160	0,137	0,884	0,670	0,575	0,911
Interação (A×D)	0,346	0,607	0,363	0,566	0,248	0,434	0,175	0,349	0,632	0,953
Interação (F×D)	0,205	0,221	0,108	0,244	0,233	0,643	0,374	0,909	0,195	0,939
Interação (A×F×D)	0,168	0,147	0,279	0,178	0,736	0,120	0,163	0,323	0,211	0,182
CV (%)	7,83	10,46	18,80	13,82	10,84	17,44	8,83	11,44	16,02	9,94

APFL: altura de plantas na floração; CLO: clorofila; AF: área foliar; MSA: matéria seca da parte aérea; AIPL: altura da inserção do primeiro legume; NLP: número de legumes por planta; NGL: número de grãos por legume; MMG: massa de mil grãos; PROD: produtividade dos grãos; TPG: teor de proteína dos grãos; CV: coeficiente de variação.

Os resultados reportaram efeitos significativos entre os ambientes de produção de soja para as variáveis altura de plantas, clorofila, área foliar, matéria seca da parte aérea, altura da inserção do primeiro legume, número de legumes por planta, massa de mil grãos, teor de proteína dos grãos (Quadro 3). Esses resultados corroboram os obtidos por Silva *et al.* (2015), os quais verificaram que a produtividade de grãos e teor de óleo na soja foram influenciados pelos ambientes de produção. Este fato demonstra que os ambientes interferem no desenvolvimento da soja devido a interação genótipo e ambiente, sendo que o ambiente UFMS 2 obteve o maior desenvolvimento das plantas de soja culminando no incremento da produtividade dos grãos, todavia não interferiu no teor de proteína dos grãos.

Quadro 3. Valores médios para caracteres agrônômicos influenciados pelos ambientes de produção, fontes e doses do fertilizante nitrogenado, durante a segunda safra 2018/2019. Chapadão do Sul (MS), Brasil

Fatores/	AP	CLO	AF	MSA	INS	NL	NGL	MMG	PROD	TPG
Tratamentos	(cm)	-	(cm ²)	(g)	(cm)	(unidade)	g	kg ha ⁻¹	%	
Ambiente ⁽¹⁾										
UFMS 1	76,11 b	45,10 b	3229 b	23,08 b	17,73 b	17,73 b	2,02 a	171,08 a	3086 b	36,37 a
UFMS 2	88,20 a	46,83 a	3896 a	26,76 a	19,00 a	19,00 a	1,97 a	171,24 a	3558 a	37,34 a
Fonte de N ⁽¹⁾										
Ureia	78,92 b	45,80 a	3701 a	23,18 b	17,40 b	17,40 b	2,06 a	166,40 a	3341 a	37,39 a
Sulfato de amônio	85,39 a	46,13 a	3424 a	26,65 a	19,33 a	19,33 a	1,93 a	175,91 a	3303 a	36,33 a
Doses										
0	80,25 ⁽²⁾	46,74	3103 ⁽³⁾	23,38 ⁽⁴⁾	18,65	18,65	1,99	164,34	3192	36,50
50	81,10	45,63	3419	25,23	19,01	19,21	2,05	169,74	3238	36,74
100	84,62	46,37	3750	28,23	18,16	18,16	1,98	179,52	3448	36,49
150	84,99	45,73	4111	25,31	17,38	17,38	1,98	175,36	3609	37,97
200	82,03	45,38	3431	24,56	18,42	18,42	1,96	166,82	3123	36,59

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras minúsculas iguais na mesma coluna não têm diferença, de acordo com o teste F. ⁽²⁾ AP = $-0,0003x^2 + 0,0764x + 79,569$ ($R^2 = 0,77^*$). ⁽³⁾ AF = $-0,0561x^2 + 13,907x + 3012,9$ ($R^2 = 0,77^*$). ⁽⁴⁾ MSA = $-0,0003x^2 + 0,0684x + 23,265$ ($R^2 = 0,73^*$). * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t” de Student. APFL: altura de plantas na floração; CLO: clorofila; AF: área foliar; MSA: matéria seca da parte aérea; AIPL: altura da inserção do primeiro legume; NLP: número de legumes por planta; NGL: número de grãos por legume; MMG: massa de mil grãos; PROD: produtividade dos grãos; TPG: teor de proteína dos grãos.

O ambiente UFMS 2, que apresenta maiores teores de macronutrientes (cálcio e magnésio) no solo e conseqüentemente maior saturação por bases, favoreceu o desenvolvimento das plantas. Nesse tratamento foi possível observar que as plantas de soja tiveram maiores teores de clorofila e de área foliar. Com isso, houve incremento da taxa fotossintética e da produção de fotoassimilados. Esses, por sua vez, promoveram o desenvolvimento da planta (altura e massa seca aérea) e, conseqüentemente, o aumento do número de legumes e da produtividade dos grãos, todavia não alterou o teor de proteína no grão.

No ambiente UFMS 1, a aplicação de calcário na superfície do solo pode não ter promovido a adequação da saturação por bases e disponibilização dos nutrientes

para soja. Watanabe *et al.* (2005) relatam que o uso de calcário 60 dias antes do plantio da soja promoveu o aumento nos níveis de pH e P disponibilizados no solo, porém, os níveis de Ca e Mg pouco se alteraram devido à falta de dissolução por completo do calcário, mesmo assim a adição de calcário promoveu a produtividade de soja, quando comparada à área sem calagem. Verifica-se que na área UFMS 1 os níveis de Mg estavam baixos ($> 0,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$), segundo Sousa; Lobato (2004) valores abaixo desse valor podem refletir na inibição do desenvolvimento e produtividade da soja.

Por outro lado, ao avaliar as fontes de N na cultura da soja, percebe-se diferenças nas variáveis altura de plantas, matéria seca da parte aérea, altura da inserção do primeiro legume, número de legumes por planta, sendo que a fonte sulfato de amônio culminou em maiores valores nessas variáveis. Este fato pode estar relacionado ao sulfato de amônio possuir na sua fórmula além de N o enxofre, sendo que as perdas de N por volatilização são menores quando comparadas com a ureia. Todavia, percebe-se que não houve diferença estatística nos componentes de produção e teor de proteína dos grãos. Esses resultados corroboram em partes aos observados por Oliveira Neto *et al.* (2019), os quais verificaram que as fontes de N não afetaram a massa de mil grãos e a produtividade dos grãos de soja. A ausência do efeito das fontes de N nos componentes de produção, com exceção do número de plantas, se deve ao fato das doses de N não terem interferido nessas variáveis. Por sua vez, Bahry *et al.* (2013) observaram que as fontes de N não afetaram o número de grãos por planta e número de grãos por legumes da soja.

Adicionalmente, apesar das fontes de N terem influenciado significativamente a altura da inserção do primeiro legume e o número de legumes por planta, esses efeitos foram de forma isolada, pois a aplicação das doses de N não interferiu nessas variáveis. Portanto, ao considerar o efeito das doses de N nos componentes produtivos e no teor de proteína da soja, o efeito da fonte de N se torna não significativo, haja vista que o uso de N mineral associado à inoculação com *B. japonicum* não se mostrou consistente quanto aos seus efeitos sobre tais características.

Quanto às características agronômicas da soja em função da aplicação de N observou-se efeito significativo apenas nas variáveis altura de plantas, área foliar e massa seca da parte aérea, para as demais variáveis não houve efeito significativo. Esses resultados são iguais aos verificados por Zuffo *et al.* (2018), que observaram

efeito da adubação nitrogenada na altura de plantas e matéria seca da parte aérea de plantas de soja.

Os resultados foram ajustados ao modelo quadrático de regressão, sendo que a máxima altura de plantas, área foliar e massa seca da parte aérea foram de 84,42 cm, 3875 cm² e 27,16 g, verificadas com as doses de 127, 124 e 114 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Tais achados corroboram os obtidos por Pereira *et al.* (2018), os quais verificaram que a adubação nitrogenada associada com *B. japonicum* na cultura da soja alterou a massa seca aérea das plantas de soja. Segundo Malavolta (2006) o N está envolvido na síntese de clorofilas, enzimas, compostos proteicos e, conseqüentemente, maximizar a capacidade das plantas em produzir gemas reprodutivas.

Portanto, as doses de N favoreceram o crescimento vegetativo das plantas, entretanto tais efeitos não foram observados nos componentes de produção da soja, bem como no teor de proteína. Tais achados também foram verificados por Werner *et al.* (2016), que verificaram que a fertilização com N mineral no início do ciclo de desenvolvimento, dependendo das condições ambientais, pode aumentar o crescimento das plantas, mas não reflete os incrementos no rendimento de grãos. Alguns estudos reportaram que o uso de fertilizantes nitrogenados não melhora o desempenho produtivo da cultura (ARATANI *et al.*, 2008; KASCHUK *et al.*, 2016; KORBER *et al.*, 2017; ZUFFO *et al.*, 2018) e o teor de proteína dos grãos de soja (MARCON *et al.*, 2017).

O fato do N não melhorar a produtividade dos grãos pode ser atribuído à utilização pelas plantas de soja, do N fixado pela simbiose *Bradyrhizobium* - soja, que pode ter sido a fonte de todo o N que as plantas necessitaram. Possivelmente, a quantidade de nitrogênio fixada pela cultura mais a aplicação do MAP estavam dentro das necessidades das plantas, tornando dispensável a adubação complementar com N mineral. Dessa forma, fica evidente a importância da inoculação com as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* para o fornecimento de N na cultura da soja. Adicionalmente, as reservas de N do solo pela própria mineralização da matéria orgânica (22,8 e 23,2 g dm⁻³) foram suficientes para atender à exigência para formação dos legumes e dos grãos. Portanto, para essas condições, a escolha de se fazer a aplicação ou não de N não resultará em melhorias quantitativas e qualitativas dos grãos de soja.

De modo geral, a soja apresentou caracteres agronômicos satisfatórios. Para a produção de grãos, observou-se que todas as doses apresentaram um desempenho produtivo acima da produtividade média da cultura no Estado de Mato Grosso do Sul - 2960 kg ha⁻¹ alcançados na safra 2018/2019 (CONAB, 2019). Todavia, em relação aos teores de proteínas nos grãos os valores médios variaram entre 36-38%, esses níveis são incompatíveis com o padrão exigido pelo mercado internacional (46 a 47%) (SEDIYAMA, 2016).

4 CONCLUSÕES

A adubação não incrementou os componentes de produção, produtividade e o teor de proteína dos grãos, independentemente do ambiente, das fontes e doses de N na aplicação. Por isso, conclui-se que as estirpes de *B. japonicum* são eficientes para a nutrição de soja cultivada em solo de média a alta fertilidade, não havendo necessidade de se aplicar nitrogênio durante o pleno florescimento.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, pela concessão de recursos financeiros, à Fundação Chapadão e à Universidade Federal do Mato Grosso do Sul pelo apoio logístico.

REFERÊNCIAS

ARATANI, R. G.; LAZARINI, E.; MARQUES, R. R.; BACKES, C. Adubação nitrogenada em soja na implantação do sistema plantio direto. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 3, p. 31-38, 2008. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6755/4457>. Acesso em: 22 ago. 2019.

BAHRY, C. A.; VENSKE, E.; NARDINO, M.; FIN, S. S.; ZIMMER, P. Z.; SOUZA, V. Q. CARON, B. O. Características morfológicas e componentes de rendimento da

soja submetida a adubação nitrogenada. **Agrarian**, v. 21, n. 6, p. 281-288, 2013. Disponível em: <http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/2240/1570>. Acesso em: 20 ago. 2019.

BARRANQUEIRO, H. R.; DALCHIAVON, F. C. Aplicação de azoto na cultura da soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 196-204, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/rca16030>. Acesso em: 21 ago. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento, agosto 2019**. Brasília: Conab, 2019. 107p.

DETMANN, E.; QUEIROZ, A. C.; CABRAL, L. S. Avaliação do nitrogênio total (proteína bruta) pelo método de Kjeldahl. *In*: DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; BERCHIELLI, T. T.; CABRAL, L. S.; LADEIRA, M. M.; SOUZA, M. A.; QUEIROZ, A. C.; SALIBA, E. O. S.; PINA, D. S.; AZEVEDO, J. A. G. (ed.). **Métodos para análise de alimentos - INCT - Ciência Animal**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. v. 1, cap. 4, p. 51-68.

DOMINGOS, C. S.; SILVA LIMA, L. H.; BRACCINI, A. L. Nutrição mineral e ferramentas para o manejo da adubação na cultura da soja. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, n. 3, p. 132-140, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v14n3p132-140>. Acesso em: 21 ago. 2019.

KASCHUK, G.; HUNGRIA, M.; LEFFELAAR, P. A.; GILLER, K. E.; KUYPER, T. W. Differences in photosynthetic behaviour and leaf senescence of soybean (*Glycine max* [L.] Merrill) dependent on N₂ fixation or nitrate supply. **Plant Biology**, v. 12, p. 60-69, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00211.x>. Acesso em: 22 ago. 2019.

KASCHUK, G.; NOGUEIRA, M. A.; LUCA, M. J. de; HUNGRIA, M. Response of determinate and indeterminate soybean cultivars to basal and topdressing N fertilization compared to sole inoculation with *Bradyrhizobium*. **Field Crops Research**, v. 195, p. 21-27, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.05.010>. Acesso em: 21 ago. 2019.

KORBER, A. H. C.; PINTO, L. P.; PIVETTA, L. A.; ALBRECHT, L. P.; FRIGO, K. D. de A. Adubação nitrogenada e potássica em soja sob sistemas de semeadura. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 4, p. 38-45, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.32404/rean.v4i4.1653>. Acesso em: 20 ago. 2019.

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? *In*: BRUIJN, F. (ed.). **Biological Nitrogen Fixation**. John Wiley & Sons, New Jersey, 2015. p. 1005-1019.

LIMA, I. P.; BRUZI, A. T.; BOTELHO, F. B. S.; ZAMBIAZZI, E. V.; SOARES, I. O.; ZUFFO, A. M. Performance of Conventional and Transgenic Soybean Cultivars in the South and Alto Paranaíba Regions of Minas Gerais, Brazil. **American Journal Plant Science**, v. 6, n. 9, p. 1385-1390, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.69138>. Acesso em: 22 ago. 2019.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 2006. 631p.

MARCON, E. C.; ROMIO, S.; MACCARI, V.; KLEIN, C.; LÁJUS, C. Uso de diferentes fontes de nitrogênio na cultura da soja. **Revista Thema**, v. 14, n. 2, p. 298-308, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.15536/thema.14.2017.298-308.427>. Acesso em: 22 ago. 2019.

MORENO, G.; ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P.; PIEROZAN JUNIOR, C.; PIVETTA, L. A.; TESSELE, A.; LORENZETTI, J. B.; FURTADO, J. C. N. Application of nitrogen fertilizer in high-demand stages of soybean and its effects on yield performance. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 1, p. 16-21, 2018. Disponível em: http://www.cropj.com/moreno_12_1_2018_16_21.pdf. Acesso em: 20 ago. 2019.

OLIVEIRA NETO, A. M.; GASPARELO, L.; HUBEN, H. C. H.; SCHMOELLER, J. R.; GUERRA, N.; HARTHMANN, O. E. L. Avaliação da aplicação de nitrogênio durante o estágio reprodutivo da cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 8, n. 1, p. 101-113, 2019. Disponível em: <http://www.dca.uem.br/V8N1/11.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2019.

PARENTE, T. de L.; LAZARINI, E.; CAIONI, S.; PIVETTA, R. S.; SOUZA, L. G. M.; BOSSOLANI, J. W. Adubação nitrogenada em genótipos de soja associada à inoculação em semeadura direta no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 2, p. 249-255, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v10i2a5320>. Acesso em: 21 ago. 2019.

PEREIRA, C. S.; TRENTIN FILHO, M. G.; FIORINI, I. V. A.; PEREIRA, H. D.; ROCHA, J. R.; SILVA, A. A. da. Formas e estádios de aplicação de adubação nitrogenada no desenvolvimento e produtividade da soja. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 4, p. 99-112, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v10n420181259>. Acesso em: 21 ago. 2019.

PETTER, F. A.; PACHECO, L. P.; ALCÂNTARA NETO, F. de; SANTOS, G. G. Respostas de cultivares de soja à adubação nitrogenada tardia em solos de cerrado. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 67-72, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2137>. Acesso em: 20 ago. 2019.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 3. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 522p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBREERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2018.

SEDIYAMA, T. **Produtividade da soja**. Londrina: Mecenas, 2016. 310p.

SILVA, K. B.; BRUZI, A. T.; ZUFFO, A. M.; ZAMBIAZZI, E. V.; SOARES, I. O.; REZENDE, P. M. de; FRONZA, V.; VILELA, G. D. L.; BOTELHO, F. B. S.; TEIXEIRA, C. M.; COELHO, M. A. de O. Adaptability and phenotypic stability of soybean cultivars for grain yield and oil content. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 2, p. 1-11, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4238/gmr.15026756>. Acesso em: 22 ago. 2019.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MÖLLER, I. M.; MURPH, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

WATANABE, R. T.; FIORETTO, R. A.; FONSECA, I. B. Da; SEIFERT, A. L.; SANTIAGO, D. C.; CRESTE, J. E.; HARADA, A.; CUCOLOTTI, M. Produtividade da cultura de soja em função da densidade populacional e da porcentagem de cátions (Ca, Mg e K) no complexo sortivo do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 4, p. 477-484, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2005v26n4p477>. Acesso em: 21 ago. 2019.

WERNER, F.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FERREIRA, A. S.; MARCELO, A. De A.; DEBIASI, S. H.; FRANCHINI, J. C. Soybean growth affected by seeding rate and mineral nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 8, p. 734-738, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n8p734-738>. Acesso em: 22 ago. 2019.

ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; BUSCH, A.; ZOZ, T. Response of early soybean cultivars to nitrogen fertilization associated with *Bradyrhizobium japonicum* inoculation. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 4, p. 436-446, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v48s2637>. Acesso em: 20 ago. 2019.

Recebido em: 09/09/2019

Aceito em: 19/11/2019