

COMPLEMENTAÇÃO DE NITROGÊNIO EM FASE REPRODUTIVA DA CULTURA DA SOJA EM LATOSSOLOS DO CERRADO

Claudinei Kappes¹

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Sistemas de Produção, NemaBio Laboratório e Pesquisa Agronômica, Sinop – MT, Brasil. E-mail do autor: claudinei.kappes@nemabio.com.br

Recebido: 27/11/2020; Aceito: 11/05/2021

RESUMO: A demanda de nitrogênio (N) pela cultura da soja é suprida pela mineralização da matéria orgânica do solo e pela fixação biológica do N, mas existem questionamentos quanto ao efeito da adubação nitrogenada complementar em estádios reprodutivos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade de soja após a complementação de N em fase reprodutiva da soja. Foram conduzidos quatro experimentos durante a safra 2012/2013 em Latossolos de textura média, argilosa e muito argilosa localizados em Mato Grosso. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com cinco repetições e os tratamentos dispostos em esquema unifatorial, sendo quatro doses de N no estágio fenológico R5.3 da soja: 0,0; 22,5; 45 e 90 kg ha⁻¹. A fonte de N utilizada foi a ureia e a aplicação ocorreu a lanço. A complementação de N via ureia no enchimento de grãos da soja não alterou a população final e a altura de planta, mas aumentou a massa de mil grãos em solo muito argiloso e a produtividade de soja em solos de textura média e muito argilosa até a dose de 90 kg ha⁻¹ do elemento.

Palavras-chave: Adubação nitrogenada. Enchimento de grãos. *Glycine max*. Ureia.

NITROGEN SUPPLEMENTATION IN REPRODUCTIVE PHASE OF SOYBEAN CROP IN CERRADO OXISOL

ABSTRACT: The nitrogen (N) demand by soybean crop is supplied by mineralization of soil organic matter and biological N fixation, but there are questions about the effect of complementary N fertilization in reproductive stages. The objective of this study was to evaluate the soybean yield after N supplementation in reproductive phase of soybean. Four experiments were conducted during the 2012/2013 crop seasons in an Oxisol with sandy loam, clay and very clay texture located in the Mato Grosso State, Brazil. The experimental design was in randomized blocks with five replicates and the treatments arranged in a unifactorial scheme, with four N rates in R5.3 growth stage of soybean: 0.0; 22.5; 45.0 and 90.0 kg ha⁻¹. The N source was urea and the application occurred in broadcast. N supplementation with urea in seed filling of soybean did not alter the final population and the plant height but increased the thousand grain weight in very clay soil and the soybean yield in sandy loam and very clay soils up to the rate of 90.0 kg ha⁻¹ of the element.

Key words: Nitrogen fertilization. Seed filling. *Glycine max*. Urea.

INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pelas plantas, por ser componente essencial das moléculas de DNA, dos aminoácidos, da clorofila e das proteínas (TAIZ; ZEIGER, 2017). A cultura da soja necessita quantidades elevadas de N para conseguir sintetizar as proteínas (HUNGRIA; MENDES, 2015). Desse modo, para produzir 1,0 tonelada de grãos de soja são necessários, aproximadamente, 80 kg de N (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2019), equivalente à extração. A demanda de N na soja pode ser suprida pela mineralização da matéria orgânica do solo, pela fixação biológica do N (FBN) e pelo uso de fertilizantes nitrogenados. Entretanto, a síntese de fertilizantes nitrogenados requer fontes energéticas não renováveis e segundo Hungria, Campo e Mendes (2007), são necessários cerca de seis barris de petróleo para cada tonelada de amônia sintetizada. Esses pesquisadores reportaram, ainda, que a eficiência de uso desses fertilizantes pelas plantas nas condições brasileiras raramente é superior a 50%, e esse insumo está altamente relacionado à poluição de águas (rios, reservatórios, lençóis freáticos) e da atmosfera (emissão de gases de efeito estufa).

A FBN pode fornecer todo o N que a soja necessita (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2013), desde que respeitados os procedimentos para uma adequada inoculação. Entretanto, desde o início da expansão do cultivo da soja, em áreas de primeiro cultivo no Cerrado, na década de 1970, houveram dúvidas por parte dos agricultores de que somente a inoculação fosse suficiente para suprir todo o N necessário para se alcançar boas produtividades (MENDES *et al.*, 2008). Os questionamentos sobre a necessidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados na soja foram se tornando mais frequentes à medida que produtividades mais elevadas passaram a ser obtidas. Atualmente, produtividades superiores a 7,0 t ha⁻¹ de grãos têm sido relatadas no Fórum Nacional de Máxima Produtividade do Comitê Estratégico Soja Brasil - CESB. Contudo, pesquisas conduzidas de modo sistemático e contínuo não têm comprovado incremento na produtividade pela aplicação de N via adubação. Nos poucos casos em que isso foi verificado, o incremento está relacionado à alguma condição de estresse abiótico que limitou de modo extremo a FBN, como período de seca, deficiências nutricionais ou práticas inadequadas de inoculação, mas sem retorno econômico (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2019).

Outra dúvida quanto à necessidade de complementação com fertilizantes nitrogenados surgiu com o lançamento de cultivares de tipo de crescimento indeterminado. A Embrapa conduziu vários experimentos comparando cultivares de tipo determinado e indeterminado e complementação com fertilizantes nitrogenados e mais uma vez foi constatado que adotando boas práticas de inoculação, não há qualquer benefício pela aplicação de N mineral (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2019), conforme demonstrado nos estudos de Kaschuk *et al.* (2016) e Saturno *et al.* (2017). Resultados obtidos em todas as regiões onde a soja é cultivada no Brasil mostraram que a aplicação de fertilizante nitrogenado na semeadura ou em cobertura em qualquer estágio de desenvolvimento da planta, em sistemas de semeadura direta ou convencional, em cultivares de ciclo curto ou longo, de hábito de crescimento determinado ou indeterminado, transgênica ou não transgênica, além de reduzir a nodulação e a eficiência da FBN, não traz incremento em produtividade para a soja. No entanto, se as fórmulas do fertilizante que contêm N forem mais econômicas do que as fórmulas sem N, elas

poderão ser utilizadas, desde que não sejam aplicados mais do que 20 kg ha⁻¹ de N (EMBRAPA, 2013).

Surgiram, ainda, indagações sobre a complementação com fertilizantes nitrogenados após o florescimento, época em que, supostamente, haveria queda na contribuição da FBN o que, mais uma vez, não foi confirmado pela pesquisa (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2019). Pelo fato de ser considerado um assunto polêmico na comunidade científica (ALMEIDA, 2015; SEDIYAMA, 2016) e apresentar resultados de pesquisas controversos e devido a soja ser cultivada nos mais variados ambientes de produção e a introdução constante de novas cultivares no mercado, gera-se dúvidas quanto à necessidade de adubar a soja com fertilizantes nitrogenados. A hipótese que fundamentou a realização deste trabalho é a de que o fornecimento de N mineral, de forma complementar em fase de enchimento de grãos, pode aumentar a produtividade da soja.

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar a produtividade de soja após a complementação de N em fase reprodutiva da cultura em Latossolos com diferentes classes texturais no Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos quatro experimentos na safra 2012/2013 em propriedades localizadas em Mato Grosso com altitudes variando entre 460 e 545 m, em Latossolos de textura média e argilosa em Sapezal e de textura média e muito argilosa em Itiquira, cujos teores de argila na camada de 0,0-0,2 m eram de 214, 506, 184 e 658 g dm⁻³, respectivamente. Antes da instalação dos experimentos foram realizadas amostragens de solo nas camadas de 0,0-0,2 m, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m para análise química (Tabela 1), cujos resultados revelaram áreas de baixa fertilidade em Sapezal (solo de textura média) e adequada em Sapezal (solo de textura argilosa) e em Itiquira (solos de textura média e muito argilosa), de acordo com as classes de interpretações sugeridas por Sousa e Lobato (2004) para solos de Cerrado. Os solos foram originalmente ocupados por vegetação de Cerrado e o clima predominante das regiões, segundo classificação de Köppen-Geiger (ALVARES *et al.*, 2013), é o do tipo Aw. A precipitação média anual é entre 1.200 e 1.800 mm e a temperatura média anual entre 22 e 23 °C.

As áreas onde os experimentos foram instalados estiveram sob cultivo de culturas anuais, sobretudo de monocultivo de soja no período de primavera-verão, por ao menos 25 anos. Em Itiquira, no solo de textura muito argilosa, foram aplicadas 2,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT de 80%) em superfície (sem incorporação) antes da instalação do experimento. Nas demais áreas não houve correção da acidez do solo. Na safra que antecedeu a instalação dos experimentos (2011/2012), as áreas em Sapezal (solos de textura média e argilosa) e em Itiquira (solo de textura muito argilosa) foram cultivadas no sistema soja-milho safrinha. A área com solo de textura média em Itiquira foi cultivada no sistema soja-*Crotalaria spectabilis* safrinha. Os experimentos foram conduzidos sob condições de sequeiro e em sistema de semeadura direta.

Tabela 1. Atributos químicos dos solos nas camadas de 0,0-0,2 m, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m antes da instalação dos experimentos nos quatro locais (Mato Grosso, safra 2012/2013). *Soil chemical attributes in the 0.0-0.2 m, 0.2-0.4 m and 0.4-0.6 m layers before the installation of the experiments in the four locations (Mato Grosso State, crop seasons 2012/2013).*

Camada (m)	pH CaCl ₂	P ---- mg dm ⁻³ ----	K ⁺	S	Ca ⁺² ----- cmol _c dm ⁻³ -----	Mg ⁺²	H+Al -----	CTC	V ----- % -----	m	MO g kg ⁻¹
----- Sapezal (solo de textura média) -----											
0,0-0,2	4,7	8,8	40	11	1,4	0,6	3,7	5,8	36,2	12,5	18,1
0,2-0,4	4,5	1,3	26	18	0,8	0,3	3,0	4,2	28,0	25,5	9,9
0,4-0,6	4,2	0,8	22	29	0,6	0,2	2,8	3,7	23,4	25,9	7,6
----- Sapezal (solo de textura argilosa) -----											
0,0-0,2	4,5	13	72	15	1,9	0,5	6,0	8,6	30,1	13,4	29,8
0,2-0,4	4,1	2,3	43	32	0,8	0,3	5,3	6,5	18,6	29,2	23,2
0,4-0,6	4,0	1,3	37	37	0,8	0,2	4,9	6,0	18,3	35,4	21,7
----- Itiquira (solo de textura média) -----											
0,0-0,2	4,9	18	43	10	1,8	0,7	3,8	6,4	40,6	0,0	23,4
0,2-0,4	4,3	5,6	26	18	0,8	0,3	3,7	4,9	23,7	26,7	18,7
0,4-0,6	4,2	2,0	17	27	0,4	0,2	3,5	4,1	15,5	44,9	12,3
----- Itiquira (solo de textura muito argilosa) -----											
0,0-0,2	5,2	15	76	9	2,9	1,0	4,0	8,1	50,8	0,0	33,0
0,2-0,4	4,5	3,1	39	28	1,2	0,5	5,1	6,9	26,1	17,2	27,1
0,4-0,6	4,5	1,5	28	55	1,1	0,5	3,7	5,3	31,6	17,3	16,8

Nota: Métodos analíticos: pH em CaCl₂ (acidez ativa) – CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹. P e K⁺ (Mehlich-1 – HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N). S (fosfato de cálcio). Ca⁺² e Mg⁺² (cloreto de potássio – 1N). H+Al (acidez potencial) – acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0. MO (matéria orgânica) – oxidação com dicromato de potássio e determinação colorimétrica. Cálculos: CTC (capacidade de troca de cátions). V (saturação por bases). m (saturação por alumínio). *Analytical methods: pH in CaCl₂ (active acidity) – CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹. P and K⁺ (Mehlich-1 – HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N). S (calcium phosphate). Ca⁺² and Mg⁺² (potassium chloride – 1N). H+Al (potential acidity) – calcium acetate 0,5 mol L⁻¹ at pH 7,0. MO (organic matter) – oxidation with potassium dichromate and colorimetric determination. Calculations: CTC (cation exchange capacity). V (base saturation). m (aluminum saturation).*

Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*

Em Sapezal, em ambas as condições de solos, foram aplicados 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 30 kg ha⁻¹ de K₂O via formulado NPK 00-30-10 no sulco de semeadura. Quando a cultura se encontrava no estágio fenológico V5 (quinta folha trifoliolada aberta), foram aplicados 120 e 60 kg ha⁻¹ de K₂O a lanço via cloreto de potássio (KCl) nos experimentos em solos de textura média e argilosa, respectivamente. Em Itiquira, no experimento conduzido no solo de textura média, foram aplicados 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O via formulado NPK 00-18-18 e 72 kg ha⁻¹ de K₂O a lanço via KCl em pré-semeadura. Ainda em Itiquira, no experimento em solo muito argiloso, foram aplicados 120 kg ha⁻¹ de K₂O via a lanço via KCl em pré-semeadura e 54, 48 e 24 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Ca e S-SO₄⁻², respectivamente, via superfosfato simples no sulco de semeadura. As adubações foram de acordo com o manejo de cada propriedade agrícola.

As sementes foram tratadas no dia da semeadura com clorantraniliprole (0,63 g kg⁻¹), fipronil (0,5 g kg⁻¹), piraclostrobina (0,05 g kg⁻¹) e tiofanato metílico (0,45 g kg⁻¹),

objetivando evitar o ataque de eventuais insetos-praga e doenças no início do desenvolvimento da cultura. Em seguida, as sementes receberam cobalto ($0,05 \text{ g kg}^{-1}$) e molibdênio ($0,5 \text{ g kg}^{-1}$), visando assegurar condições nutricionais favoráveis para a assimilação do N pelas plantas. Por fim, aplicou-se inoculante líquido contendo estirpes de bactérias de *Bradyrhizobium elkanii* (SEMIA 5019) e de *B. japonicum* (SEMIA 5079), na dose de 1,5 milhão de células viáveis por semente. Utilizou-se semeadora-adubadora específica para o sistema plantio direto, equipada com haste sulcadora e mecanismo de distribuição de sementes pneumático (vácuo por discos perfurados). Informações de classe textural do solo, genótipos utilizados e datas de semeadura e colheita da soja nos quatro locais de condução dos experimentos encontram-se disponíveis na Tabela 2. O manejo de plantas daninhas, insetos-praga e doenças foi feito através do monitoramento frequente e, quando necessário, efetuou-se o controle com produtos específicos para cada caso, visando manter a cultura em condições adequadas de sanidade. As aplicações dos produtos foram realizadas com pulverizador de barras tratorizado calibrado para aplicar 150 L ha^{-1} de calda.

Tabela 2. Classe textural do solo, informações dos genótipos de hábito de crescimento determinado, população de plantas estabelecida e datas de semeadura e colheita da soja dos quatro locais de condução dos experimentos (Mato Grosso, safra 2012/2013). *Soil textural class, information on genotypes of determinate growth habit, established plant population and dates of sowing and harvesting of soybean from the four locations where the experiments were conducted (Mato Grosso State, crop seasons 2012/2013).*

Local	Classe textural ⁽¹⁾	----- Informações dos genótipos -----			----- Datas -----	
		Cultivar	GM ⁽²⁾	População ⁽³⁾	Semeadura	Colheita
Sapezal	Média	TMG 1179 RR	7.9	349.670	18/10	11/02
Sapezal	Argilosa	TMG 1179 RR	7.9	370.830	17/10	06/02
Itiquira	Média	TMG 132 RR	8.5	234.330	25/10	05/03
Itiquira	Muito argilosa	TMG 1176 RR	7.6	293.520	24/10	14/02

Nota: ⁽¹⁾ Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018). ⁽²⁾ Grupo de maturação relativa. ⁽³⁾ Em plantas ha^{-1} . ⁽¹⁾ *Brazilian Soil Classification System (EMBRAPA, 2018)*. ⁽²⁾ *Relative maturity group*. ⁽³⁾ *In plants ha^{-1}* .

Fonte: Autoria própria. *Own authorship*.

Em todos os experimentos, o delineamento experimental foi em blocos ao acaso com cinco repetições e os tratamentos dispostos em esquema unifatorial, sendo quatro doses de N em cobertura: 0,0; 22,5; 45 e 90 kg ha^{-1} . As doses de N foram aplicadas manualmente, distribuindo o fertilizante a lanço na superfície do solo (sem incorporação), na forma de ureia (45% de N), quando a cultura se encontrava no estágio fenológico R5.3 (maioria das vagens entre 26 a 50% de granação). Em Sapezal, as parcelas foram constituídas por 12 linhas de 10,0 m de comprimento e o espaçamento entre linhas foi de 0,5 m. Em Itiquira, as parcelas foram constituídas por 14 linhas de 10,0 m de comprimento e os espaçamentos entre linhas foram de 0,5 e 0,45 m nos solos de textura média e muito argilosa, respectivamente.

Em pré-colheita mensurou-se a população final de plantas (contagem das plantas em 3,0 m lineares em dois pontos amostrais por parcela) e a altura de planta (dez plantas representativas e aleatórias por parcela). Na colheita determinou-se a massa de mil grãos (pesagem de uma subamostra de 500 grãos por parcela em balança de precisão, extrapolando-

se para mil grãos) e a produtividade (obtida a partir da trilha mecânica e pesagem dos grãos oriundos das plantas coletadas em dois pontos amostrais por parcela com duas linhas adjacentes de 4,0 m de comprimento). A massa de grãos foi corrigida para 13% de umidade (base úmida).

Procedeu-se o teste F da análise de variância individual considerando as doses de N (tratamentos) como fator fixo. Quando constatado efeito significativo, as médias de tratamentos foram analisadas por regressão polinomial, ajustando-se modelos de equações significativas pela análise de variância ($p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$). Os resultados de produtividade foram submetidos à análise conjunta, verificando-se previamente, a homogeneidade das variâncias pelo teste de Hartley F máximo, calculado pela razão entre o maior e o menor quadrado médio residual (QMR) dos experimentos. Utilizou-se como critério para agrupamento dos experimentos somente aqueles com variâncias consideradas homogêneas, cuja relação QMR deve ser $\leq 7,0$ (PIMENTEL GOMES, 2009). Na análise conjunta foi considerada a interação tratamentos x genótipos/locais. Em caso de efeito significativo, as médias de genótipos/locais foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Para identificação da importância de cada fator de variação da análise conjunta, foi estimada a contribuição de cada um deles na variação total, mediante a obtenção do coeficiente de determinação (R^2), em conformidade com Ramalho, Abreu e Oliveira (2012), por meio da expressão: $R_i^2 = SQ_i/SQ_t \times 100$, em que: SQ_i é a soma de quadrados do fator de variação i , e SQ_t é a soma de quadrados total. O *software* utilizado foi o SISVAR, versão 5.6.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias de todas as variáveis mensuradas nos quatro locais de condução (Tabela 3), exceto de produtividade e de população final de plantas no solo de textura média em Sapezal e Itiquira, respectivamente, apresentaram coeficientes de variação considerados baixos (<10%), de acordo com Pimentel Gomes e Garcia (2002), resultados que conferem boa precisão experimental.

Em nenhum local a população de plantas foi alterada significativamente pelas doses de N em cobertura (Tabela 3), o que indica que as demais variáveis mensuradas não foram alteradas. Apesar do N ser o maior responsável pelo desenvolvimento vegetativo das plantas (MALAVOLTA, 2006), mesmo comportamento de resposta foi constatado para a altura de planta, o que era esperado e pode ser compreendido pelo hábito de crescimento determinado da cultivar utilizada, ou seja, no momento da aplicação, as plantas se encontravam com o seu crescimento definido. Adicionalmente, Zimmer (2012) salienta que pode não ocorrer resposta de N sobre os componentes morfológicos, pelo fato de que o N aplicado após o florescimento é normalmente carregado para os grãos. O contrário ocorre antes do florescimento, em que o N é rapidamente incorporado em novas proteínas vegetativas, contribuindo assim para o crescimento e desenvolvimento vegetativo da planta (LARCHER, 2000).

Tabela 3. Resumo da análise de variância individual e valores médios gerais de população final de plantas (PFP), altura de planta (AP), massa de mil grãos (MMG) e produtividade (PROD) de soja em função de doses de N via ureia no estágio R5.3 em solos com diferentes classes texturais (Mato Grosso, safra 2012/2013). *Summary of the individual analysis of variance and general average values of final plant population (PFP), plant height (AP), thousand grain mass (MMG) and soybean yield (PROD) as a function of N rates via urea at R5.3 growth stage in soils with different textural classes (Mato Grosso State, crop seasons 2012/2013).*

Fator de variação	GL	PFP (plantas ha⁻¹)	AP (cm)	MMG (g)	PROD (t ha⁻¹)
----- Valores de F⁽¹⁾ (Sapezal, solo de textura média) -----					
Tratamentos	3	0,252 ns	0,148 ns	0,781 ns	0,102 ns
Blocos	4	0,774 ns	0,585 ns	0,972 ns	0,161 ns
Resíduo	12	-	-	-	-
Total	19	-	-	-	-
CV (%)		5,57	9,59	4,58	22,05
Média geral		349.667	46,3	119,4	2,70
---- Valores de F⁽¹⁾ (Sapezal, solo de textura argilosa) ----					
Tratamentos	3	1,449 ns	0,461 ns	2,951 ns	0,510 ns
Blocos	4	1,622 ns	0,557 ns	2,480 ns	0,356 ns
Resíduo	12	-	-	-	-
Total	19	-	-	-	-
CV (%)		3,54	5,23	3,23	9,68
Média geral		370.833	65,8	122,3	3,43
----- Valores de F⁽¹⁾ (Itiquira, solo de textura média) -----					
Tratamentos	3	0,082 ns	0,498 ns	2,002 ns	3,396 *
Blocos	4	0,853 ns	0,732 ns	1,091 ns	1,495 ns
Resíduo	12	-	-	-	-
Total	19	-	-	-	-
CV (%)		10,48	5,02	4,20	4,51
Média geral		234.333	74,0	125,1	3,90
Valores de F⁽¹⁾ (Itiquira, solo de textura muito argilosa)					
Tratamentos	3	0,616 ns	1,352 ns	4,483 *	6,445 **
Blocos	4	1,421 ns	1,969 ns	1,565 ns	2,139 ns
Resíduo	12	-	-	-	-
Total	19	-	-	-	-
CV (%)		8,75	5,54	2,26	3,74
Média geral		293.518	70,5	133,2	4,03

Nota: Estádio R5.3 – maioria das vagens entre 26 a 50% de granação. GL – grau de liberdade. CV – coeficiente de variação. ⁽¹⁾ Teste F e nível de significância: ns – não significativo. ** e * – significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente. *R5.3 growth stage – most pods between 26 to 50% grain filling. GL – degree of freedom. CV – coefficient of variation. ⁽¹⁾F test and significance level: ns – not significant. ** and * – significant at 1% and at 5% probability, respectively.*

Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*

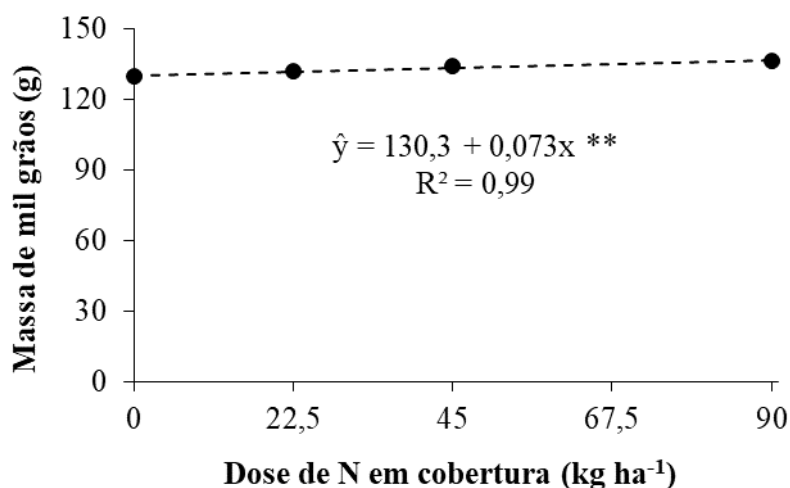
A ausência de resposta da altura de planta à complementação de N em cobertura (Tabela 3) vai de encontro com os resultados observados por Bahry *et al.* (2013b), os quais não constataram influência de doses de N aplicadas entre o início do florescimento e o início da maturidade da soja. O fato de as doses de N não terem promovido incrementos da altura de planta mostra-se vantajoso, uma vez que o aumento excessivo do porte das plantas torna-as suscetíveis ao acamamento e, conseqüentemente, geram dificuldades no manejo fitossanitário e na colheita. De acordo com Rezende e Carvalho (2007), a altura adequada de plantas de soja para uma eficiente colheita mecanizada deverá estar entre 60 e 120 cm. Assim, as alturas de plantas verificadas neste estudo (exceto no solo de textura média em Sapezal) ficaram dentro da faixa adequada e, de forma visual, não se detectaram acamamentos, mesmo com 90 kg ha⁻¹ de N.

Em Sapezal, em ambas as condições texturais dos solos, a massa de mil grãos e a produtividade não foram influenciadas pelas doses de N em cobertura (Tabela 3), provavelmente por ser uma variável cujas alterações são governadas pelo genótipo e pelas condições climáticas durante os estádios de enchimento dos grãos. Bahry *et al.* (2013b) constataram que por não haver alterações significativas na massa de mil grãos de soja após aplicações crescentes de doses de N, independente do estágio reprodutivo em que estas foram aplicadas, o uso do N não contribuiu para o incremento deste componente produtivo, o que corrobora com os resultados alcançados no presente trabalho. O fato de a produtividade não ter incrementado após o fornecimento de N em cobertura em Sapezal corrobora os resultados de PEREIRA *et al.* (2010), BAHRY *et al.* (2013a) e SATURNO *et al.* (2017), ao concluírem que a adubação nitrogenada não proporcionou aumento na produtividade de soja.

No presente trabalho, a adição de N pode ter desfavorecido a FBN. O insucesso do fornecimento de N mineral sobre a produtividade é atribuído ao fato deste elemento prejudicar a atividade dos nódulos que ainda se encontram ativos nas raízes (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2019), diminuindo a contribuição da FBN, sendo que este efeito é maior em sistema plantio direto e mais pronunciado quanto maior for a dose de N aplicada (MENDES *et al.*, 2008). Outrossim, Zuffo *et al.* (2019) constataram que 20, 40 e 60 kg ha⁻¹ de N via ureia inibiram a nodulação da soja, comprovado pelos menores números, volume e matéria seca dos nódulos. O estímulo para a infecção das bactérias *B. japonicum* ocorre em condições de baixa disponibilidade de N no solo, fato este que induz o estresse necessário à produção do isoflavona para expressar o fator do gene NOD (ALMEIDA, 2015). Os resultados do presente trabalho ressaltam a importância do manejo adequado do N, para que se evitem não apenas prejuízos para a FBN, mas também o uso desnecessário de fertilizantes nitrogenados na soja. Nos trabalhos de Mendes *et al.* (2008) conduzidos nas condições de Cerrado com populações estabelecidas de *Bradyrhizobium*, as aplicações de N nos estádios início do florescimento e enchimento de grãos promoveram aumentos nas produtividades de soja em comparação à inoculação com *B. japonicum* (estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080). No entanto, os pesquisadores Mendes *et al.* (2008) reportaram que os ganhos não apresentariam vantagem econômica em relação à inoculação.

Em Itiquira, em solo de textura muito argilosa, a análise de variância revelou efeito significativo das doses de N sobre a massa de mil grãos (Tabela 3). Houve aumento linear a medida que se incrementou as doses de N em cobertura no estágio R5.3 (Figura 1), cujos

valores saltaram de 130,1 g para 136,7 g entre as doses zero e 90 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, indicando que o nutriente foi importante para o enchimento de grãos da cultura. Este aumento pode estar associado ao maior acúmulo de proteína nos grãos, em função da maior síntese de aminoácidos ocasionada pela presença de N proteínas, conforme descrito por Taiz e Zeiger (2017). Outros autores também reportaram aumento da massa de mil grãos em resposta às doses de N mineral na cultura da soja (BAHRY *et al.*, 2013a) e à dose única do elemento (BARRANQUEIRO; DALCHIAVON, 2017; MARCON *et al.*, 2017).

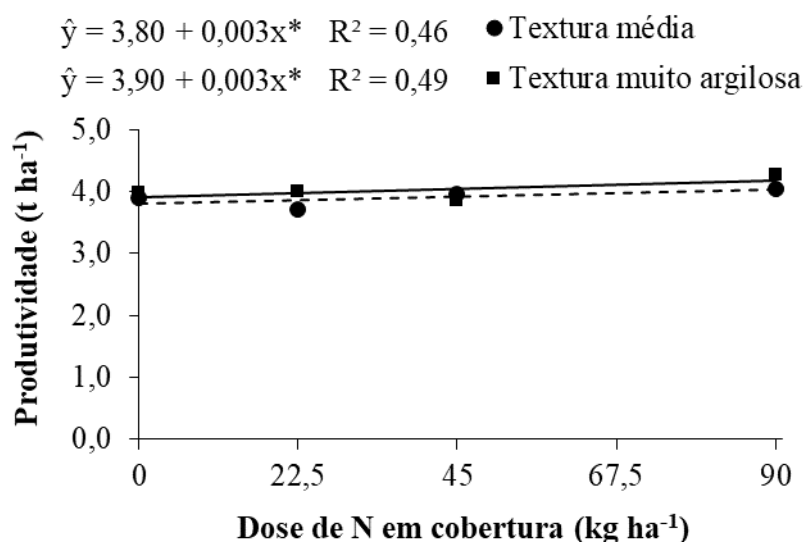


Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade (Mato Grosso, safra 2012/2013). *F test: ** – significant at 1% probability (Mato Grosso State, crop seasons 2012/2013).*

Figura 1. Massa de mil grãos de soja em resposta às doses de N via ureia no estágio R5.3 em solo de textura muito argilosa. *Thousand grain mass of soybean in response to N rates via urea at R5.3 growth stage in very clay soil.*

Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*

Em ambas as condições texturais de solo em Itiquira, o aumento nas doses de N em cobertura propiciou acréscimos lineares nas produtividades (Figura 2), cujos valores saltaram de 3,9 para 4,1 t ha⁻¹ (incremento de 4,1%) e de 4,0 para 4,3 t ha⁻¹ (incremento de 7,3%) entre as doses zero e 90 kg ha⁻¹ de N nos solos de textura média e muito argilosa, respectivamente. Apesar de a maioria dos trabalhos que estudaram adubação nitrogenada na soja não terem mostrado ganhos significativos de produtividades, existem outros que se obtiveram resultados positivos com a adubação nitrogenada nesta cultura, como os de Petter *et al.* (2012), Bahry *et al.* (2013b), Barranqueiro e Dalchiavon (2017) e Marcon *et al.* (2017), o que corrobora, portanto, com estes resultados. Sendo assim, a obtenção ou não do efeito positivo da adubação nitrogenada em soja, pode estar na dependência de outros fatores, tais como cultivar, época de semeadura, tipo de solo, sistema de manejo do solo, teor de matéria orgânica do solo, fonte de N, presença de *Bradyrhizobium* no solo, condição de estresse abiótico que limita de modo extremo a FBN (período de seca, deficiências nutricionais ou práticas inadequadas de inoculação), dentre outros.



Teste F: * – significativo a 5% de probabilidade (Mato Grosso, safra 2012/2013). *F test: * – significant at 5% probability (Mato Grosso State, crop seasons 2012/2013).*

Figura 2. Produtividade de soja em resposta às doses de N via ureia no estágio R5.3 em solos de textura média e muito argilosa. *Soybean yield in response to N rates via urea at R5.3 growth stage in sandy loam and very clay soils.*

Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*

As produtividades do experimento conduzido em Sapezal, em solo de textura média, não apresentaram variâncias homogêneas (Tabela 4). Portanto, considerando o critério da relação QMR $\leq 7,0$ (PIMENTEL GOMES, 2009), este ambiente foi eliminado da análise conjunta, mantendo-se os demais. Além disso, o coeficiente de variação verificado neste ambiente foi considerado inaceitável (22,1%), pois segundo Carvalho *et al.* (2003), o limite máximo do coeficiente de variação aceitável para produtividade de soja a campo é de 16%. Os coeficientes de variação dos ambientes mantidos na análise conjunta variaram de 3,74 a 9,7%, indicando precisão no controle do fator de variação de ordem sistemática dos ambientes experimentais para a produtividade, que é uma característica quantitativa muito influenciada pelo ambiente.

A análise conjunta de produtividade revelou efeito significativo e isolado apenas de genótipos/locais (Tabela 5). Ao avaliar os valores dos coeficientes de determinação, nota-se que o efeito de genótipos/locais (53,2%) foi cerca de 10 vezes maior do que o efeito de tratamentos (5,0%), o que indica a existência de variabilidade entre os genótipos/locais avaliados e por esta razão, prosseguiu-se com a comparação de médias, a qual apontou os ambientes com solos de textura média (cv. TMG 132 RR) e muito argilosa (cv. TMG 1176 RR) em Itiquira sendo os mais produtivos e o de solo com textura argilosa em Sapezal (cv. TMG 1179 RR) sendo o menos produtivo (Tabela 4), provavelmente por ser de baixa fertilidade. É importante ressaltar que o efeito de genótipos se confunde com o de locais, uma vez que foi inserida uma cultivar por local. A diferença entre genótipos/locais era esperada pois estes são governados por características muito peculiares e que naturalmente são

distintas. A interação tratamentos \times genótipos/locais, não significativa, foi responsável por apenas 7,5% da variação total e por este motivo não se precedeu o desdobramento.

Tabela 5. Resumo da análise de variância conjunta para produtividade de soja com decomposição da interação tratamentos \times genótipos/locais dos experimentos conduzidos em Sapezal (solo de textura argilosa) e Itiquira (solos de textura média e muito argilosa) para avaliação de doses de N via ureia no estágio R5.3. (Mato Grosso, safra 2012/2013). *Summary of the joint analysis of variance for soybean yield with decomposition of the treatments \times genotypes/locations of the experiments conducted in Sapezal (clay soil) and Itiquira (sandy loam and very clay soils) for the evaluation of N rates via urea at R5.3 growth stage (Mato Grosso State, crop seasons 2012/2013).*

Fator de variação	Produtividade de soja			
	GL	Quadrado médio	p>F ⁽¹⁾	R ² (%)
Tratamentos (T)	3	0,123	ns	5,0
Genótipos/Locais (GL)	2	1,949	**	53,2
T \times GL	6	0,092	ns	7,5
Blocos/experimentos	12	0,045	ns	7,4
Resíduo	36	0,055	-	26,7
Total	59	-	-	-
CV (%)			6,17	
Média geral (t ha ⁻¹)			3,79	

Nota: ⁽¹⁾Teste F: ns – não significativo. ** – significativo a 1% de probabilidade. GL – grau de liberdade. R² – coeficiente de determinação. CV – coeficiente de variação. ⁽¹⁾F test: ns – not significant. ** – significant at 1% probability. GL – degree of freedom. R² – determination coefficient. CV – coefficient of variation.

Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*

É prudente, por fim, tecer algumas considerações econômicas quanto à aplicação de N em soja: considerando a necessidade de 80 kg de N para a produção de 1,0 tonelada de grãos (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2019), a baixa eficiência de uso do fertilizante nitrogenado (máxima de 50%), uma produtividade de 3,5 t ha⁻¹ e um preço médio de US\$ 581,23 por tonelada de ureia (US\$ 1,29 por kg de N, preço de dezembro de 2012), tem-se que as aplicações de 22,5, 45 ou 90 kg ha⁻¹ de N representariam apenas 4,0, 8,0 e 16,0% da necessidade da cultura, a um custo de US\$ 29,03 US\$ 58,06 e US\$ 116,10 por hectare, respectivamente, sem contar o custo de transporte e a aplicação. Esses números são um bom exemplo do risco econômico que o agricultor assume ao aplicar este insumo na cultura soja. Ainda que não justifique economicamente a aplicação de N em soja, de acordo com Mendes *et al.* (2008) e com os resultados do presente trabalho, os aumentos nas produtividades, nas condições do Cerrado, apontam para a necessidade permanente de aprimoramento dos estudos em FBN, para que esse processo possa continuar suprindo as crescentes necessidades da cultura em N, em consequência do aumento nos tetos produtivos.

CONCLUSÃO

A complementação de N via ureia no estágio R5.3 da soja não alterou a população final e a altura de planta, mas aumentou a massa de mil grãos em solo muito argiloso e a

produtividade de soja em solos de textura média e muito argilosa até a dose de 90 kg ha⁻¹ do elemento.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso (Fundação MT) pela condução dos experimentos e suporte nas avaliações agronômicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. V. **A polêmica do uso de nitrogênio em soja**. 3. ed. 2015. Disponível em: <http://www.doutoresdaterra.com.br/plantas/a-polemica-do-uso-de-nitroge-nio-em-soja>.

Acesso em: 20 abr. 2017.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p.711-728, 2013.

BAHRY, C. A.; VENSKE, E.; NARDINO, M.; FIN, S. S.; ZIMMER, P. D.; SOUZA, V. Q.; CARON, B. O. Aplicação de ureia na fase reprodutiva da soja e seu efeito sobre os caracteres agronômicos. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 7, n. 2, p.9-14, 2013a.

BAHRY, C. A.; VENSKE, E.; NARDINO, M.; FIN, S. S.; ZIMMER, P. D.; SOUZA, V. Q.; CARON, B. O. Características morfológicas e componentes de rendimento da soja submetida à adubação nitrogenada. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 21, p.281-288, 2013b.

BARRANQUEIRO, H. R.; DALCHIAVON, F. C. Aplicação de azoto na cultura da soja. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 1, p.196-204, 2017.

CARVALHO, C. G. P.; ARIAS, C. A. A.; TOLEDO, J. F. F.; ALMEIDA, L. A.; KIIHL, R. A. S.; OLIVEIRA, M. F.; HIROMOTO, D. M.; TAKEDA, C. Proposta de classificação dos coeficientes de variação em relação à produtividade e altura da planta de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p.187-193, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja: região Central do Brasil 2014**. Londrina: Embrapa, 2013. 265 p. (Sistemas de Produção, 16).

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividades do produto brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Documentos, 283).

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? *In*: BRUIJN, F. (Ed.) **Biological nitrogen fixation**. v. 2. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2015. Cap. 99, p. 1005-1019.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Tecnologia de inoculação na cultura da soja: mitos, verdades e desafios. *In: FUNDAÇÃO MT. (Org.). Boletim de pesquisa 2019/2020*. 19. ed. Cuiabá: Entrelinhas Editora, 2019. Cap. 2, p. 50-62.

KASCHUK, G.; NOGUEIRA, M. A.; LUCA, M. J.; HUNGRIA, M. Response of determinate and indeterminate soybean cultivars to basal and topdressing N fertilization compared to sole inoculation with *Bradyrhizobium*. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 195, p.21-27, 2016.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARCON, E. C.; ROMIO, S. C.; MACCARI, V. M.; KLEIN, C.; LÁJUS, C. R. Uso de diferentes fontes de nitrogênio na cultura da soja. **Revista Thema**, Pelotas, v. 14, n. 2, p.298-308, 2017.

MENDES, I. C.; REIS-JUNIOR, F. B.; HUNGRIA, M.; SOUSA, D. M. G.; CAMPO, R. J. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em Latossolos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p.1053-1060, 2008.

PEREIRA, V. J.; RODRIGUES, J. F.; GOMES FILHO, R. R.; REIS, J. M. R. Comportamento da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) submetida à adubação nitrogenada de plantio. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 10, p.1-5, 2010.

PETTER, F. A.; PACHECO, L. P.; NETO, F. A.; SANTOS, G. G. Respostas de cultivares de soja à adubação nitrogenada tardia em solos de Cerrado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p.67-72, 2012.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2012. 305 p.

REZENDE, P. M.; CARVALHO, E. A. Avaliação de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] para o sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p.1616-1623, 2007.

SATURNO, D. F.; CERZINI, P.; SILVA, P. M.; OLIVEIRA, A. B.; OLIVEIRA, M. C. N.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Mineral nitrogen impairs the biological nitrogen fixation in soybean of determinate and indeterminate growth types. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 40, n. 12, p.1690-1701, 2017.

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

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 848 p.

ZIMMER, P. D. Fundamentos da qualidade da semente. *In*: PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. (Eds.). **Sementes**: fundamentos científicos e tecnológicos. Pelotas: UFPel, 2012. Cap. 2, p. 105-160.

ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; BUSCH, A.; SANTOS, D. M. S. Adubação nitrogenada na soja inibe a nodulação e não melhora o crescimento inicial das plantas. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 12, n. 2, p.333-349, 2019.