



ARTIGO ORIGINAL

Alvadi Antonio Balbinot Junior¹
Flávia Werner^{2*}
André Sampaio Ferreira²
José Marcos Gontijo Mandarino¹
Henrique Debiasi¹
Julio Cezar Franchini¹

Desempenho agrônômico da soja em diferentes densidades de plantas e épocas de aplicação de nitrogênio em sistema de plantio direto

Agronomic performance of soybean under different plant densities and times of N fertilization under no-tillage system

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Soja, Rodovia Carlos João Strass, s/n, Warta, 86001-970, Londrina, PR, Brasil
² Universidade Estadual de Londrina – UEL, Rodovia Celso Garcia Cid, PR 445, km 380, 86051-980, Londrina, PR, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: flawerner6@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Glycine max (L.) Merrill
Teores de óleo e proteína
Componentes de rendimento

KEYWORDS

Glycine max (L.) Merrill
Oil and protein contents
Yield components

RESUMO: A demanda de nitrogênio (N) pela soja é atendida pela mineralização da matéria orgânica e pela fixação simbiótica de N, sendo questionável a necessidade de adubação nitrogenada mineral. A densidade de plantas pode afetar a absorção do N presente na solução do solo, bem como o processo de fixação simbiótica. Os efeitos da interação da densidade de plantas e da aplicação de N mineral, em diferentes estádios de desenvolvimento da soja foram pouco elucidados. O objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho produtivo da soja e os teores de óleo e proteína nos grãos em diferentes épocas de aplicação de N mineral, em duas densidades de plantas contrastantes. O experimento foi conduzido em Londrina, PR, nas safras 2013/14 e 2014/15, utilizando-se o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições e parcelas subdivididas. Nas parcelas, foram alocadas duas densidades de plantas (110 e 450 mil plantas ha⁻¹) e, nas subparcelas, três épocas de aplicação de 45 kg de N ha⁻¹ (semeadura, V4 e R5.2), além do controle sem a aplicação de N. Não houve interação entre a densidade de plantas e a adubação nitrogenada para todas as variáveis avaliadas. A densidade de plantas não alterou a produtividade e os teores de óleo e proteína nos grãos. O único componente de rendimento influenciado pela densidade foi o número de vagens por planta, o qual foi superior na menor densidade. A adubação nitrogenada mineral, aplicada em diferentes épocas, não afetou o desempenho produtivo da soja e os teores de óleo e proteína nos grãos.

ABSTRACT: The nitrogen (N) demanded by the soybean crop is supplied by the soil organic matter mineralization and by biological fixation, and the effects of N fertilization are questionable. Soybean plant density may influence the N uptake from the soil solution, and the biological N fixation process. The effects of the interaction between soybean plant density and mineral N fertilization applied in different soybean growth stages were poorly understood. This work aimed at evaluating soybean productive performance, grain oil and protein content, as affected by time of mineral N fertilization and plant density. The experiment was carried out in Londrina/PR, Southern Brazil, during 2013/14 and 2014/15 growing seasons, using a randomized block design in a split-plot arrangement, with four replications. Two plant densities (110 e 450 thousand plants ha⁻¹) were allocated in the plots. Three application times of 45 kg de N ha⁻¹ (planting, V4, and R5.2), besides of the control without the application of N, were distributed in the subplots. The interaction between plant density and mineral N fertilization was not significant for all variables. Grain yields, oil and protein contents were not altered by plant density. Number of pods per plant was the only yield component affected by plant density, being lower for the highest density. Regardless the application time, mineral N fertilization did not increase soybean grain yields, oil and protein contents.

Recebido: 11 jan. 2016
Aceito: 02 set. 2016

1 Introdução

Nas últimas duas décadas, a cultura da soja apresentou aumentos expressivos de área e de produtividade no Brasil. O ajuste nas práticas de manejo colaborou para o aumento da competitividade da cultura frente a outros grandes produtores, como os Estados Unidos da América e a Argentina. Dentre as práticas de manejo da cultura, a densidade de plantas pode alterar a velocidade de fechamento das entrelinhas (Heiffig et al., 2006), a produção de fitomassa (Procópio et al., 2013), a arquitetura das plantas (Balbinot Jr. et al., 2015a), a severidade de doenças (Hanna et al., 2008), o acamamento (Balbinot Jr. et al., 2015b), os componentes de rendimento (Cox & Cherney, 2011; Moreira et al., 2015) e a produtividade da cultura (Thompson et al., 2015). Isso ocorre porque a densidade afeta diretamente a competição intraespecífica e, conseqüentemente, a quantidade de recursos do ambiente – água, luz e nutrientes – disponíveis para cada indivíduo (Gaspar & Conley, 2015).

Diversas pesquisas têm demonstrado a baixa resposta da soja às variações de densidade de plantas (Tourino et al., 2002; Heiffig et al., 2006; Lee et al., 2008; Procópio et al., 2013; De Luca & Hungria, 2014; Balbinot Jr. et al., 2015a e b; Moreira et al., 2015). No entanto, segundo Procópio et al. (2014), grande parte dos trabalhos com densidade de plantas de soja no Brasil foram realizados em cultivares com tipo de crescimento determinado e com crescimento vigoroso de plantas, características distintas das cultivares lançadas recentemente no mercado brasileiro.

A baixa resposta da soja às alterações de densidade ocorre em função da alta plasticidade fenotípica da cultura, a qual consiste na capacidade da planta alterar a sua morfologia e os componentes do rendimento, a fim de adequá-los à condição imposta pelo arranjo de plantas, permitindo a manutenção da produtividade em ampla faixa de densidade (Cooperative..., 1994). Em baixa densidade, as plantas de soja tendem a emitir maior quantidade de ramos e formar hastes mais robustas, aumentando o número de vagens por planta (Heiffig et al., 2006). Frente ao aumento dos custos com sementes, em razão da inserção de características via transgenia, a redução da densidade de plantas pode ser uma alternativa para racionalizar o uso desse insumo, sem alterações na produtividade.

A cultura da soja apresenta elevada demanda por N, em função do elevado teor proteico na biomassa (Bohrer & Hungria, 1998). Estima-se que sejam necessários cerca de 240 kg de N para a produção de 3.000 kg de grãos de soja (Hungria et al., 2001). A demanda de N pela soja pode ser atendida pela mineralização da matéria orgânica, pela fixação simbiótica e pela adubação. No Brasil, a adubação nitrogenada na cultura da soja não é recomendada pela pesquisa, já que a fixação biológica do N, juntamente com o N disponibilizado pela matéria orgânica do solo, supre a demanda da cultura por esse nutriente, desde que a inoculação seja realizada seguindo as indicações técnicas (Mendes et al., 2008; Moreira et al., 2015). Contudo, segundo Woli et al. (2013), os efeitos da aplicação de N na cultura da soja sobre a produtividade ainda não estão completamente esclarecidos. Adicionalmente, há carência de informações sobre os efeitos da aplicação de N mineral sobre os teores de óleo e proteína nos grãos, já que o suprimento de N às plantas de soja afeta diretamente a síntese proteica.

A interação da adubação nitrogenada realizada em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura com a densidade de plantas de soja foi pouco investigada pela pesquisa. Nesse contexto, a hipótese do presente trabalho é de que a fertilização nitrogenada mineral é dispensável na cultura da soja, independentemente da época de aplicação e da densidade de plantas, sendo possível utilizar baixa densidade, obtendo-se produtividades similares à alta densidade. O objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho produtivo da soja e os teores de óleo e proteína nos grãos em diferentes épocas de aplicação de N mineral, em duas densidades de plantas contrastantes.

2 Material e Métodos

O experimento de campo foi conduzido na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, Londrina, PR (latitude 23°11' S, longitude 51°11' W e altitude de 620 m), durante as safras 2013/14 e 2014/15, na mesma área experimental. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico e apresentava os seguintes atributos, na camada de 0 a 20 cm, antes da implantação do experimento: 21,4 g dm⁻³ de matéria orgânica; 4,9 de pH em CaCl₂; 8,6 mg dm⁻³ de P (Mehlich⁻¹); 0,55 cmol_c dm⁻³ de K; 3,7 cmol_c dm⁻³ de Ca; 1,4 cmol_c dm⁻³ de Mg; 12 mg dm⁻³ de S e 55% de saturação por bases. A área experimental foi manejada em sistema plantio direto por 15 anos, sendo utilizadas as culturas de soja e milho no verão e trigo e aveia preta no inverno. A cobertura vegetal presente na área, trigo na primeira safra e aveia preta na segunda, foi dessecada quimicamente com glyphosate (1.080 g ha⁻¹) e carfentrazone-ethyl (30 g ha⁻¹), aos 15 dias antes da semeadura.

O delineamento experimental foi de blocos completos casualizados, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Nas parcelas (5 x 10 m) foram alocadas duas densidades de semeadura (150 e 560 mil sementes ha⁻¹), que resultaram em 110 e 450 mil plantas ha⁻¹, respectivamente. Nas subparcelas (2,5 x 5 m) foram alocadas três épocas de aplicação de 45 kg ha⁻¹ de N (semeadura, V4 e R5.2) e a testemunha (sem adubação nitrogenada mineral). A adubação nitrogenada foi realizada na forma de sulfato de amônio (21% de N), a lanço, sem incorporação. A área experimental apresentava declividade inferior a 3%, sendo circundada por terraços, evitando o escoamento de água, a qual poderia carrear o N aplicado. A área útil das subparcelas foi composta por três fileiras de soja (1,5 m x 4,0 m), totalizando 6 m².

A semeadura foi realizada nos dias 23/10/2013 e 28/10/2014. A cultivar utilizada nas duas safras foi a BRS 359 RR, que possui tipo de crescimento indeterminado, grupo de maturidade relativa 6.0 e arquitetura compacta de plantas. A adubação de semeadura constou da aplicação de 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples (20% P₂O₅) e 40 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio (60% K₂O), a lanço, 10 dias antes da semeadura (Embrapa, 2011). As sementes foram tratadas com Vitavax-Thiran 200SC[®] (150 mL por 50 kg de sementes) e inoculante líquido Gelfix 5[®] (100 mL 50 kg de sementes). O controle de doenças, insetos-praga e plantas daninhas foi efetuado conforme as recomendações técnicas para a cultura da soja. Os dados de precipitação pluvial e temperaturas mínima, média e máxima do ar no período de condução do experimento são apresentados na Figura 1A, B.

A produtividade foi determinada pela colheita das plantas na área útil das subparcelas, por meio de uma colhedora automotriz de parcelas, sendo os dados corrigidos para 13% de umidade e expressos em kg ha⁻¹. Foram coletadas 10 plantas

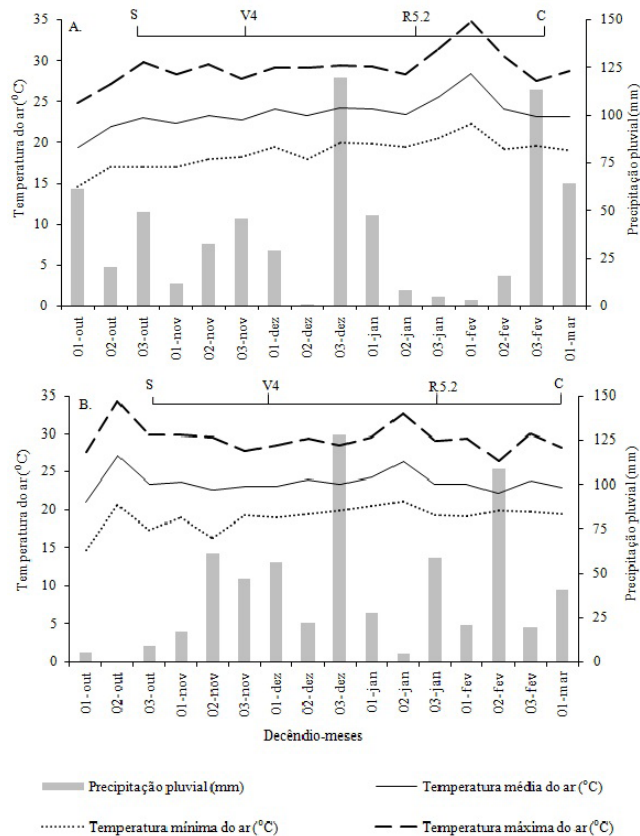


Figura 1. Precipitação pluvial (mm) e temperaturas mínima, média e máxima do ar (°C) durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da soja nas safras de 2013/2014 (A) e 2014/2015 (B). Londrina, PR. (S: Semeadura; V4: Adubação no estágio V4; R5.2: Adubação no estágio R5.2 e C: Colheita).

Figure 1. Rainfall (mm) and minimum, average and maximum air temperature (°C) during the soybean crop development cycle in the 2013/2014 (A) and 2014/2015 (B) growing seasons. Londrina, PR. (S: Sowing; V4: Fertilization in the V4 stage; R5.2: Fertilization in the R5.2 stage and C: Harvest).

Tabela 1. Altura de plantas (AP), altura de inserção da primeira vagem (AIPV), índice de colheita aparente (ICA) e teores de óleo (TO) e proteína (TP) em grãos de soja em duas densidades de sementeira (média de quatro estratégias de adubação nitrogenada). Londrina, PR, safras 2013/14 e 2014/15.

Table 1. Plant height (AP), first pod height (AIPV), apparent harvest index (ICA) and oil content (TO) and protein (TP) on soybeans grains at two plant densities (average of four nitrogen fertilization strategies). Londrina, PR, 2013/14 and 2014/15 growing seasons.

Densidades de plantas (mil ha ⁻¹)	AP (cm)	AIPV (cm)	Safr 2013/14		
			ICA	TO (%)	TP (%)
110	74,0 a ¹	10,4 b	0,53 a	22,2 a	37,5 a
450	73,1 a	16,9 a	0,48 b	22,0 a	37,9 a
CV (%)	12,3	9,4	6,8	2,9	2,7
Safr 2014/15					
110	91,6 b	11,7 b	0,54 a	23,3 a	39,3 a
450	100,9 a	18,8 a	0,48 b	23,0 a	39,8 a
CV (%)	4,2	20,4	3,2	2,2	2,5

¹ Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

por subparcela para avaliação da altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de mil grãos e índice de colheita aparente (ICA). O ICA não considera a massa das folhas senescentes, e foi estimado pela seguinte equação: massa seca de grãos/(massa seca de grãos + massa seca da palha).

Os teores de proteína e óleo foram determinados em grãos íntegros pela técnica da Refletância do Infravermelho Próximo (NIR), conforme descrito por Heil (2010). Os grãos inteiros e limpos foram submetidos a leituras, em equipamento da marca Thermo, modelo Antaris II, dotado de esfera de integração com resolução de 4 cm⁻¹, média de 32 scans e background a cada leitura. Para a predição, foram utilizados modelos matemáticos desenvolvidos pela Embrapa Soja em 2011/12 para teores de proteína - 180 padrões, coeficiente de correlação (r) = 0,97, erro padrão da calibração (RMSEC) = 0,64 e óleo - 170 padrões, r = 0,98 e RMSEC = 0,45.

Os dados foram submetidos à análise de variância e teste F. As médias foram comparadas pelo teste Tukey (p<0,05). As análises foram executadas por meio do programa computacional Sistema para Análise de Variância - SISVAR (Ferreira, 2011).

3 Resultados e Discussão

Não houve efeito da interação entre densidade de plantas e adubação nitrogenada em todas as variáveis, dessa forma, os resultados são apresentados considerando os efeitos de forma isolada. Na safra 2013/14, a altura de planta não foi influenciada pela densidade de plantas (Tabela 1). No entanto, na safra seguinte, a maior densidade apresentou plantas mais altas, em relação à densidade mais baixa, possivelmente em razão da menor qualidade de luz presente no dossel desde o início do ciclo de desenvolvimento. Nas duas safras, constatou-se maior altura de inserção da primeira vagem na maior densidade de plantas. A qualidade da luz, percebida pelas plantas por meio dos fotorreceptores, afeta o padrão de crescimento das plantas. Em baixa qualidade da luz, as plantas de soja tendem a exibir alto crescimento em altura, a fim de incrementar o poder de interceptação desse recurso (Board, 2000). Enfatiza-se que em todos os tratamentos a altura da primeira vagem foi adequada à colheita mecanizada. De acordo com Ferreira Junior et al. (2010), em solos relativamente planos e com utilização de colhedoras adequadas, a altura mínima da primeira vagem

para realização da colheita é de 10 cm. A adubação nitrogenada não influenciou a altura de plantas e a altura de inserção da primeira vagem (Tabela 2).

O ICA foi maior na menor densidade de plantas nas duas safras (Tabela 1), corroborando os dados obtidos por Procópio et al. (2013). Com o aumento da densidade, há tendência de incremento da alocação de fotoassimilados na haste das plantas em detrimento das outras estruturas vegetativas e reprodutivas (Balbinot Jr. et al., 2015a), o que pode explicar o menor ICA na maior densidade de plantas. As estratégias de adubação nitrogenada não alteraram o ICA (Tabela 2), demonstrando que o suprimento adicional de N não alterou o padrão de alocação de fotoassimilados nas estruturas das plantas. O ICA observado na presente pesquisa foi similar ao obtido por Kuss et al. (2008) e Balbinot Jr. et al. (2015a).

Os teores de óleo e proteína nos grãos de soja não foram alterados pela densidade de plantas (Tabela 1) e pela adubação nitrogenada realizada em diferentes estádios de desenvolvimento da soja (Tabela 2). Em trabalho realizado em condições edafoclimáticas semelhantes, Moreira et al. (2015) averiguaram que densidades variando de 222 a 667 mil plantas ha⁻¹ e adubação nitrogenada com 20 e 40 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia não

influenciaram os teores de proteína e óleo nos grãos de soja, corroborando os dados obtidos neste trabalho. Observações realizadas nas últimas décadas apontam que os teores de proteína nos grãos de soja vêm diminuindo (Mahmoud et al., 2006), e há especulações sobre a possibilidade de aumento do enchimento de grãos e do teor de proteína via adubação nitrogenada na fase de enchimento de grãos. No entanto, o presente trabalho aponta que a quantidade de N disponibilizada às plantas via FBN e mineralização da matéria orgânica foi suficiente para atender a demanda dos grãos por N para realização da síntese proteica. Dessa forma, a aplicação de N no estádio R5.2 (início de formação dos grãos) não proporcionou incremento no teor de proteína nos grãos de soja.

O número de grãos por vagem e a massa de mil grãos não foram influenciados pela densidade de plantas e pela adubação nitrogenada (Tabelas 3 e 4), demonstrando que são componentes de rendimento pouco afetados pelo manejo (Rambo et al., 2003; Procópio et al., 2013; Balbinot Jr. et al., 2015b). Por outro lado, o número de vagens por planta foi fortemente influenciado pela densidade. O número de vagens por planta foi de 3,9 e 4,2 vezes da maior para a menor densidade de plantas, nas safras 2013/14 e 2014/15, respectivamente.

Tabela 2. Altura de plantas (AP), altura de inserção da primeira vagem (AIPV), índice de colheita aparente (ICA) e teores de óleo (TO) e proteína (TP) em grãos de soja em quatro estratégias de adubação nitrogenada mineral na soja (média de duas densidades de plantas). Londrina, PR, safras 2013/14 e 2014/15.

Table 2. Plant height (AP), first pod height (AIPV), apparent harvest index (ICA) and oil content (TO) and protein (TP) in soybeans grains in four mineral nitrogen fertilization strategies in soybean (average of two plant densities). Londrina, PR, 2013/14 and 2014/15 growing seasons.

Adubação nitrogenada	AP (cm)	AIPV (cm)	ICA	TO (%)	TP (%)
	Safrá 2013/14				
Ausência	73,4 a ¹	12,5 a	0,51 a	21,8 a	38,5 a
45 kg de N ha ⁻¹ (semeadura)	73,1 a	14,4 a	0,52 a	22,3 a	37,6 a
45 kg de N ha ⁻¹ (V4)	72,8 a	14,5 a	0,52 a	22,3 a	37,2 a
45 kg de N ha ⁻¹ (R5.2)	75,4 a	13,3 a	0,50 a	22,1 a	37,6 a
CV (%)	9,6	19,5	8,9	3,3	3,6
Safrá 2014/15					
Ausência	99,5 a	15,5 a	0,52 a	23,1 a	39,5 a
45 kg ha ⁻¹ de N (semeadura)	91,8 a	13,8 a	0,52 a	23,1 a	39,9 a
45 kg ha ⁻¹ de N (V4)	97,8 a	15,7 a	0,51 a	23,3 a	39,3 a
45 kg ha ⁻¹ de N (R5.2)	95,8 a	15,7 a	0,51 a	23,3 a	39,4 a
CV (%)	9,2	19,8	6,2	2,9	2,3

¹ Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 3. Produtividade de grãos (PRO), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV) e massa de mil grãos (MMG) em duas densidades de semeadura (média de quatro estratégias de adubação nitrogenada). Londrina, PR, safras 2013/14 e 2014/15.

Table 3. Grain yield (PRO), number of pods per plant (NVP), number of seeds per pod (NGV) and thousand grain weight (MMG) at two plant densities (average of four nitrogen fertilization strategies). Londrina, PR, 2013/14 and 2014/15 growing seasons.

Densidades de plantas (mil ha ⁻¹)	PRO (kg ha ⁻¹)	NVP	NGV	MMG (g)
	Safrá 2013/14			
110	2.930 a ¹	90,2 a	1,97 a	139,2 a
450	2.850 a	23,0 b	1,92 a	145,7 a
CV (%)	6,4	13,8	12,8	10,0
Safrá 2014/15				
110	3.256 a	94,9 a	2,40 a	162,3 a
450	3.118 a	22,3 b	2,28 a	159,4 a
CV (%)	10,6	27,2	11,5	3,3

¹ Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 4. Produtividade de grãos (PRO), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV) e massa de mil grãos (MMG) em quatro estratégias de adubação nitrogenada mineral na soja (média de duas densidades de plantas). Londrina, PR, safras 2013/14 e 2014/15.

Table 4. Grain yield (PRO), number of pods per plant (NVP), number of seeds per pod (NGV) and thousand grain weight (MMG) in four mineral nitrogen fertilization strategies in soybean (average of two plant densities). Londrina, PR, 2013/14 and 2014/15 growing seasons.

Adubação nitrogenada	PRO (kg ha ⁻¹)	NVP	NGV	MMG (g)
	Safr 2013/14			
Ausência	3.083 a ¹	56,6 a	1,98 a	144,5 a
45 kg ha ⁻¹ de N (semeadura)	2.809 a	54,9 a	1,95 a	140,0 a
45 kg ha ⁻¹ de N (V4)	2.962 a	53,1 a	1,90 a	143,8 a
45 kg ha ⁻¹ de N (R5.2)	2.904 a	61,8 a	1,95 a	141,7 a
CV (%)	15,4	17,1	8,0	5,8
Safr 2014/15				
Ausência	3.370 a	62,8 a	2,43 a	163,2 a
45 kg ha ⁻¹ (semeadura)	3.186 a	58,4 a	2,35 a	159,5 a
45 kg ha ⁻¹ (V4)	3.255 a	57,8 a	2,31 a	157,9 a
45 kg ha ⁻¹ (R5.2)	2.937 a	55,2 a	2,28 a	163,0 a
CV (%)	13,1	19,4	10,0	5,9

¹ Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Esse valor coincide com a proporção entre as densidades de plantas avaliadas, já que a maior densidade testada foi cerca de 4,0 vezes superior à menor. Nesse contexto, o aumento do número de vagens por planta explicou integralmente a similaridade de produtividade entre as duas densidades, já que os demais componentes de rendimento (número de grãos por vagem e massa de mil grãos) permaneceram inalterados frente à variação de densidade.

Nas duas safras, a produtividade de grãos não foi influenciada pela densidade de plantas e pela adubação nitrogenada (Tabelas 3 e 4). Esse resultado demonstra que, mesmo com a utilização de cultivar com tipo de crescimento indeterminado, ciclo curto e arquitetura compacta de plantas, a soja possui alta capacidade em manter a produtividade inalterada em ampla faixa de densidade de plantas, como abordado por De Luca & Hungria (2014). Adicionalmente, comprovou-se que a adubação nitrogenada realizada em diferentes estádios de desenvolvimento não propiciou ganhos de produtividade ou aumentos dos teores de óleo e proteína nos grãos de soja, independentemente da densidade de plantas, comprovando a hipótese da presente pesquisa.

4 Conclusões

A produtividade e os teores de óleo e proteína nos grãos de soja não são alterados pelas densidades contrastantes de plantas (110 e 450 mil plantas ha⁻¹). Independentemente da densidade de plantas, a aplicação de 45 kg ha⁻¹ de N na semeadura ou nas fases vegetativas (V4) e de enchimento de grãos (R5.2), não aumenta a produtividade e os teores de óleo e proteína nos grãos de soja, sendo uma prática não indicada para a cultura.

Referências

BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Semeadura cruzada em cultivares de soja com tipo de crescimento determinado. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 3, p. 1215-1226, 2015a. <<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3p1215>>.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; COSTA, J. M.; KOSINSKI, C. L.; PANISON, F.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Espaçamento reduzido e plantio cruzado associados a diferentes densidades de plantas em soja. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 5, p. 2975-2984, 2015b. <<http://dx.doi.org/10.5433/16790359.2015v36n5p2977>>.

BOARD, J. Light interception efficiency and light quality affect yield compensation of soybean at low plant population. *Crop Science*, v. 40, n. 5, p. 1285-1294, 2000. <<http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2000.4051285x>>.

BOHRER, T. R. J.; HUNGRIA, M. Avaliação de cultivares de soja quanto à fixação biológica do nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. 6, p. 937-952, 1998.

COOPERATIVE EXTENSION SERVICE AMES. *How a soybean plant develops*. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1994. 20p.

COX, W.J.; CHERNEY, J.H. Growth and yield responses of soybean to row spacing and seeding rate. *Agronomy Journal*, v. 103, n. 1, p. 123-128, 2011. <<http://dx.doi.org/10.2134/agronj2010.0316>>.

DE LUCA, M. J.; HUNGRIA, M. Plant densities and modulation of symbiotic nitrogen fixation in soybean. *Scientia Agricola*, v. 71, n. 3, p. 181-187, 2014. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162014000300002>>.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2012 e 2013*. 21. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 261p.

FERREIRA JUNIOR, J. A.; ESPINDOLA, S. M. C. G.; GONÇALVES, D. A. R.; LOPES, E. W. Avaliação de genótipos de soja em diferentes épocas de plantio e densidade de semeadura no município de Uberaba – MG. *FAZU em Revista*, v. 1, n. 7, p. 13-21, 2010.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S141370542011000600001>>.

GASPAR, A.P.; CONLEY, S.P. Responses of canopy reflectance, light interception, and soybean seed yield to replanting suboptimal

- stands. *Crop Science*, v. 55, n. 1, p. 377-385, 2015. <<http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2014.03.0200>>.
- HANNA, S. O.; CONLEY, S. P.; SHANER, G. E.; SANTINI, J. B. Fungicide application timing and row spacing effect on soybean canopy penetration and grain yield. *Agronomy Journal*, v. 100, n. 5, p. 1488-1492, 2008. <<http://dx.doi.org/10.2134/agronj2007.0135>>.
- HEIFFIG, L.S.; CÂMARA, G.M.S.; MARQUES, L.A.; PEDROSO, D.B.; PIEDADE, S.M.S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. *Bragantia*, v. 65, n. 2, p. 285-295, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052006000200010>>.
- HEIL, C. *Rapid, multi-component analysis of soybeans by FT-NIR Spectroscopy*. Madison: Thermo Fisher Scientific, 2010. Disponível em: <<https://www.thermoscientific.com/content/dam/tfs/ATG/CMD/CMD%20Documents/Application%20&%20Technical%20Notes/AN-51954-Rapid-Multi-Component-Analysis-Soybeans-AN51954-EN.pdf>>. Acesso: 20 novembro 2015.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, J. R.; MENDES, I. C. *Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja*. Londrina: EMBRAPA, 2001. 48 p.
- KUSS, R. C. P.; KONIG, O.; DUTRAL, M. C.; BELLÉ, R. A.; ROGGIA, S.; STURMER, G. R. Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. *Ciência Rural*, v. 38, n. 4, p. 1133-1137, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000400036>>.
- LEE, C. D.; EGLI, D. B.; TEKRONY, D. M. Soybean response to plant population at early and late planting dates in the Mid-South. *Agronomy Journal*, v. 100, n. 4, p. 971-976, 2008. <<http://dx.doi.org/10.2134/agronj2007.0210>>.
- MAHMOUD, A.A.; NATARAJAN, S.S.; BENNETT, J.O.; MAWHINNEY, T.P.; WIEBOLD, W.J.; KRISHNAN, H.B. Effect of six decades of selective breeding on soybean protein composition and quality: a biochemical and molecular analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 54, n. 11, p. 3916-3922, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1021/jf060391m>>.
- 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*, v. 43, n. 8, p. 1053-1060, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008000800015>>.
- MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; SCHROTH, G.; MANDARINO, J. M. G. Effect of Nitrogen, Row Spacing, and Plant Density on Yield, Yield Components, and Plant Physiology in Soybean–Wheat Intercropping. *Agronomy Journal*, v. 107, n. 6, p. 2162-2170, 2015. <<http://dx.doi.org/10.2134/agronj15.0121>>.
- PROCÓPIO, S. A.; BALBINOT JUNIOR., A.A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; PANISON, F. Plantio cruzado na cultura da soja utilizando uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado. *Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v.56, n. 4, p. 319-325, 2013. <<http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.048>>.
- PROCÓPIO, S. O. BALBINOT JUNIOR., A.A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; PANISON, F. Semeadura em fileira dupla e espaçamento reduzido na cultura da soja. *Agro@ambiente Online*, v. 8, n. 2, p. 212-221, 2014. <<http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v8i2.1469>>.
- RAMBO, L.; COSTA, J.A.; PIRES, J.L.F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F.G. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. *Ciência Rural*, v. 33, n. 3, p. 405-411, 2003. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782003000300003>>.
- THOMPSON, N.M.; LARSON, J.A.; LAMBERT, D.M.; ROBERTS, R.K.; MENGISTU, A.; BELLALOU, N.; WALKER, E.R. Mid-South soybean yield and net return as affected by plant population and row spacing. *Agronomy Journal*, v. 107, n. 3, p. 979-989, 2015. <<http://dx.doi.org/10.2134/agronj14.0453>>.
- TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agrônomicas da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 8, p. 1071-1077, 2002. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000800004>>.
- WOLI, K. P.; RAKSHITB, S.; LUNDVALLC, J. P.; SAWYERA, J. E.; BARKERA, D. W. Liquid swine manure application to soybean and residual-year nitrogen supply to corn. *Soil Science Society of America Journal*, v. 77, n. 5, p. 1684-1695, 2013. <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2013.05.0161>>.

Contribuição dos autores: Alvadi Antonio Balbinot Junior: planejamento experimental, estatística, redação e revisão do manuscrito; Flávia Werner: planejamento experimental, condução do experimento a campo e em laboratório e revisão do manuscrito; André Sampaio Ferreira: planejamento experimental, condução do experimento a campo e em laboratório e revisão do manuscrito; José Marcos Gontijo Mandarino: condução do experimento em laboratório e revisão do manuscrito; Henrique Debiassi: planejamento experimental e revisão do manuscrito; Julio Cezar Franchini: planejamento experimental e revisão do manuscrito.

Fonte de financiamento: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.