

Resposta de cultivares de soja à redução na densidade de plantas no planalto norte catarinense

Response of soybean cultivars to the reduction of plant density in the northern plateau of Santa Catarina

André Felipe Hermann Deretti¹ (ORCID 0000-0003-3664-1662), Luís Sangoi¹ (ORCID 0000-0002-9102-4248), Marcos Cardoso Martins Júnior¹ (ORCID 0000-0002-0694-8746), Paulo Sérgio Gularte¹ (ORCID 0000-0003-2399-3546), Valdeci Castagneti², Lucieli Santini Leolato¹ (ORCID 0000-0002-7688-4039), Hugo François Kuneski¹ (ORCID 0000-0003-3268-020X), Rafael Leandro Scherer¹ (ORCID 0000-0002-6008-7537), Jardel Berkenbrock¹ (ORCID 0000-0003-3216-415X), Lucas Duarte¹ (ORCID 0000-0002-3070-5453), Marcelo de Souza Nunes¹ (ORCID 0000-0003-0847-6719)

¹Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil. *Autor para correspondência: andrehermann94@gmail.com

²Avena Consultoria e Pesquisa Agrícola, Papanduva, SC, Brasil.

Submissão: 27/10/2021 | Aceite: 14/03/2022

RESUMO

A densidade de plantas é uma prática de manejo relevante para obtenção de altas produtividades na cultura da soja (*Glycine max* (L) Merrill). A tendência de diminuir a população de plantas é crescente devido ao alto custo das sementes. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar o desempenho agrônomo de diferentes cultivares de soja à redução na densidade de plantas no Planalto Norte Catarinense. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso dispostos em parcelas subdivididas. Nas parcelas principais foram avaliadas cinco cultivares: AS3590 IPRO, BMX Ativa RR, BMX Zeus IPRO, M5838 IPRO e NS5445 IPRO. Nas subparcelas foram avaliadas quatro densidades populacionais: 120.000 plantas ha⁻¹, 160.000 plantas ha⁻¹, 200.000 plantas ha⁻¹ e a testemunha (densidade indicada pela detentora da cultivar). Foram realizadas avaliações de rendimento de grãos e seus componentes e os dados submetidos a análise de variância utilizando teste de F. Quando significativas, as médias dos efeitos principais foram comparadas pelo teste de Tukey, e em caso de interação, as médias foram comparadas por análise de regressão. Ambas as comparações foram ao nível de significância de 5%. A redução na população de plantas não afetou o número de vagens por área, o número de grãos por vagem, o índice de colheita e o rendimento de grãos. Por outro lado, a redução na densidade de plantas aumentou o número de vagens nos ramos e por planta. As cultivares de soja testadas suportaram reduções na população de plantas, sem afetar o rendimento de grãos e a produtividade. Desta maneira, a redução na densidade de plantas pode ser recomendada para a soja cultivada no Planalto Norte Catarinense.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max* (L) Merrill; arranjo de plantas; rendimento de grãos.

ABSTRACT

The plant density is a relevant management practice to obtain high yields in soybean (*Glycine max* (L) Merrill). The tendency to decrease the plant population is increasing due to the high cost of seeds. Thus, the objective of the present study was to evaluate the agronomic performance of different soybean cultivars to the reduction in plant density in the North Plateau of Santa Catarina. The experimental design was randomized blocks arranged in split plots. In the main plots, five cultivars were evaluated: AS3590 IPRO, BMX Ativa RR, BMX Zeus IPRO, M5838 IPRO, and NS5445 IPRO. The subplots evaluated four population densities: 120,000 plants ha⁻¹, 160,000 plants ha⁻¹, 200,000 plants ha⁻¹ and the control (density indicated by the cultivar holder). Grain yield evaluations and their components were performed and the data was submitted to analysis of variance using the F test. When significant, the means of the main effects were compared by the Tukey test. In case of interaction, the means were then compared by regression analysis. Both comparisons were at the 5% significance level. The reduction in plant population did not affect the number of pods per area, the number of grains per pod, the harvest index, and grain yield. On the other hand, reducing plant density increased the number of pods on the branches and per plant. Therefore, the tested soybean cultivars supported reductions in plant population without affecting grain yield and productivity. In this way, reducing plant density can be recommended for soybean cultivated in the North Plateau of Santa Catarina.

KEYWORDS: *Glycine max* (L) Merrill; plant arrangement; grain yield.

INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* (L) Merrill) abrange a maior parte da área agrícola brasileira, ocupando cerca de 36.949 milhões de hectares com uma produção de 124,8 milhões de toneladas na safra 2019/2020 (CONAB 2020). A grande produção desta oleaginosa está associada com o elevado consumo mundial, uma vez que este grão se destaca por ser matéria prima na produção de ração animal, produtos alimentícios para o consumo humano e na indústria química (SILVA et al. 2018, MUNIZ et al. 2021).

Desde sua implantação no Brasil, a soja foi alvo de diversas pesquisas e estudos que permitiram grandes evoluções nas práticas de manejo e na genética. Estes avanços resultaram em melhorias nos índices produtivos da cultura, mérito principalmente da seleção de cultivares com maior eficiência de interceptação de luz e conversão de energia, maior número de grãos e vagens, maior peso de grãos e consequentemente maior produtividade (UMBURANAS et al. 2022). Como resultado desta evolução, a produção média brasileira de soja passou de 1.140 kg ha⁻¹ (≅19 sacas) na década de 70, para 3.379 kg ha⁻¹ (≅ 56 sacas ha⁻¹) na safra 2019/20 (BONATO & BONATO 1987, CONAB 2020).

Geralmente, o rendimento das culturas é determinado por genética, condições ambientais (solo, meteorologia), práticas de manejo (data de semeadura, densidade de plantas, fertilização) e suas interações. No entanto, para que as cultivares expressem seu potencial máximo produtivo, além do componente genético as condições ambientais e práticas de manejo são determinantes para o desempenho produtivo da soja (VAN ROEKEL et al. 2015, KUMAGAI 2020).

Dentre as práticas de manejo, a densidade de plantas destaca-se como uma etapa fundamental para a construção de lavouras com altos tetos produtivos, podendo ser facilmente alterada pelos produtores a fim de atingir melhores resultados (MORO et al. 2021). A alta população de plantas pode resultar em competição intraespecífica por recursos como água, luz e nutrientes, além de influenciar o rendimento de grãos e os componentes do rendimento (BALBINOT JUNIOR et al. 2018). Além disso, a semeadura em alta densidade pode favorecer o aumento da severidade de doenças na soja, como a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) (CARMO et al. 2019).

Por outro lado, em baixas densidades, as plantas de soja tendem a emitir maior número de ramos, aumentando o número de vagens por planta e compensando um pequeno número de indivíduos por área por uma maior produção por planta sem efeitos na produtividade da lavoura (FERREIRA et al. 2018, LI et al. 2021). Ainda, menores densidades de plantas podem aumentar a eficiência com que os produtos fitossanitários são depositados no alvo biológico no momento da pulverização (CARMO et al. 2019). A configuração espacial e a plasticidade fenotípica das plantas contribuem para o aumento da captura de luz, sendo que espécies mais curtas, como a soja são mais plásticas quando comparadas a plantas maiores como o milho (LI et al. 2021).

A semente tratada é um dos principais investimentos realizados durante a implantação de uma lavoura de soja, podendo chegar a 12% do custo total da lavoura (SILVA & DOBASHI 2021). Dessa forma, a alta plasticidade fenotípica da soja pode ser aproveitada como uma estratégia para a redução da densidade populacional das lavouras, diminuindo os custos com sementes e proporcionando uma maior lucratividade ao produtor (MORO et al. 2021).

Atualmente, poucos trabalhos têm buscado investigar as alterações nos componentes de produção e na produtividade da soja em diferentes densidades de plantio. A escassez de estudos técnicos-científicos, faz com que muitos produtores adotem as recomendações populacionais sugeridas pelas detentoras das cultivares. Estas recomendações, são muitas vezes baseadas em avaliações de ensaios pontuais realizados em poucas regiões. Vale ressaltar, que diversos fatores abióticos diferenciam uma microrregião produtora de outra, o que resulta em alterações morfofisiológicas e consequentemente em diferentes recomendações de densidade de plantas (FERREIRA et al. 2018).

Para o estado de Santa Catarina, não existem recomendações distintas entre as microrregiões, sendo geralmente utilizada a densidade de plantas indicada durante o teste de valor de cultivo e uso (VCU). Assim, faz-se necessário a realização de ensaios nas microrregiões produtoras a fim de se obter informações sobre o desempenho agrônomo das diferentes cultivares submetidas as condições edafoclimáticas específicas daquele local.

A região do Planalto Norte Catarinense possui características edafoclimáticas bastante favoráveis para a adoção de um manejo populacional de plantas reduzido, com chuvas bem distribuídas, temperaturas propícias para o desenvolvimento da cultura, incidência de radiação solar adequada e solo fértil, além da alta tecnificação dos produtores e o forte investimento na composição das lavouras. Dessa maneira, supõe-se que é possível diminuir a população de plantas na composição das lavouras do Planalto Norte

Catarinense, reduzindo os valores atualmente utilizados (sugeridos pelas empresas detentoras das sementes), sem comprometer o rendimento de grãos da soja.

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o desempenho agrônômico de diferentes cultivares de soja à redução na densidade de plantas no Planalto Norte Catarinense.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Planalto Norte Catarinense, em uma fazenda onde predomina o cultivo de soja e milho. A propriedade está localizada no município de Itaiópolis, SC (26° 19' 12" S; 50° 05' 16" W, e altitude de 804 m), e o solo da área é classificado como Latossolo Bruno Álico (POTTER et al. 2004). O clima na região é temperado, com verão ameno classificado como Cfb. As chuvas são uniformemente distribuídas, sem estação seca e a temperatura média do mês mais quente não chega a 22 °C. A precipitação oscila entre 1.100 e 2.000 mm e as geadas são severas e frequentes durante o inverno, de acordo com a classificação de KOTTEK et al. (2006). Três meses antes da instalação do experimento, o solo da área experimental apresentou as seguintes características: argila: 65%; pH em água: 5,4; P: 16,88 mg dm⁻³; K: 308,10 mg dm⁻³; M.O.: 4,6%; Al: 0,14 cmol_c dm⁻³; Ca: 8,41 cmol_c dm⁻³; Mg: 1,6 cmol_c dm⁻³; CTC_{pH 7}: 18,56 cmol_c dm⁻³; Saturação de bases: 58,19%.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com os tratamentos dispostos no arranjo de parcelas subdivididas. Na parcela principal foram alocadas cinco cultivares de soja: AS3590 IPRO, BMX Ativa RR, BMX Zeus IPRO, M5838 IPRO e NS5445 IPRO, com grupos de maturação 5.9, 5.7, 5.5, 5.8 e 5.4, respectivamente. Nas subparcelas foram avaliadas quatro densidades: 120.000, 160.000, 200.000 plantas ha⁻¹ e a testemunha, cuja população variou conforme as recomendações da detentora da cultivar (Tabela 1). Foram usadas quatro repetições por tratamento. As parcelas possuíam dimensão de 6 m x 10 m e espaçamento entre linhas de 0,5 m, perfazendo unidades experimentais com 60 m², com o propósito de aumentar a homogeneidade dentro da unidade experimental. Este tamanho de parcela foi suficiente para o propósito do experimento. As densidades foram distribuídas aleatoriamente dentro de cada cultivar e as cultivares foram distribuídas aleatoriamente nas parcelas.

Tabela 1. Cultivares de soja com suas respectivas densidades testadas e as testemunhas de acordo com a população ótima determinada pela detentora para época e região de semeadura. Papanduva, SC, 2019/2020.

Table 1. Soybean cultivars with their respective tested densities and the controls according to the optimal population determined by the holder for the time and region of sowing. Papanduva, SC, 2019/2020.

Cultivar	Densidades testadas (plantas/ha)			Testemunha ⁽¹⁾
AS3590 IPRO	120.000	160.000	200.000	300.000
BMX Ativa RR	120.000	160.000	200.000	340.000
BMX Zeus IPRO	120.000	160.000	200.000	300.000
M5838 IPRO	120.000	160.000	200.000	240.000
NS5445 IPRO	120.000	160.000	200.000	300.000

⁽¹⁾ Dados obtidos nas páginas oficiais das detentoras das cultivares. Acesso em: 20 ago. 2019: https://www.agro.bayer.com.br/essenciais-do-campo/sementes/agroeste/as_3590_ipro; <https://www.brasmaxgenetica.com.br/cultivar-regiao-sul/?Produto=1080>; <https://www.agro.bayer.com.br/essenciais-do-campo/sementes/monsoy/m-5838-ipro>; https://www.niderasementes.com.br/soja_detalle/ns-5445-ipro/.

O experimento foi conduzido no sistema de cultivo com semeadura direta na palha. Para a dessecação da cobertura de *Avena sativa* foi utilizado o herbicida Roundup Transorb® (glifosato) na dose de 2,0 l ha⁻¹, 30 dias antes da semeadura, a fim de propiciar uma semeadura homogênea. As sementes receberam tratamento com Piraclostrobina (25 g/L) + Tiofanato Metílico (225 g/L) + Fipronil (250 g/L) na dose do produto comercial de 200 ml/100 kg de semente. As sementes também foram inoculadas com *Bradyrhizobium spp.* + *Azospirillum brasilense* na dose de 4:1 dos produtos comerciais. A semeadura ocorreu no dia 11/11/2019, considerada a melhor época de semeadura para as cinco cultivares utilizadas. Para semear foi utilizada uma semeadora a vácuo de alta precisão John Deere CCS2113 com controle automático de distribuição de sementes.

Após a germinação e emergência das plântulas, cada parcela foi desbastada manualmente para atingir as populações testadas. Este procedimento foi necessário porque se aumentou em 15% a densidade de semeadura para garantir um número mínimo de plantas emergidas que correspondesse às populações testadas.

Para o controle de plantas daninhas foi utilizado o herbicida Roundup Transorb® (Glifosato), na dosagem de 2,0 l ha⁻¹. O controle químico foi executado quando as plantas daninhas estavam com no máximo três folhas expandidas, o que coincidiu com os estádios V3 e V4 da cultura da soja, segundo a escala fenológica de RITCHIE et al. (1977). O controle de pragas foi realizado com aplicação do inseticida Intrepid® (Metoxifenoza), na dosagem de 200 ml ha⁻¹ visando o controle de lagartas preventivamente. Para o controle de percevejos foi utilizado o inseticida Connect® (imidacloprido + Beta-Ciflutrina), na dosagem de 750 ml ha⁻¹. O inseticida foi aplicado quando havia a presença de percevejos. Foram realizadas duas aplicações de Intrepid®, juntamente com a primeira e segunda aplicação de fungicida, V6 e V6+15 dias, respectivamente. Foi feita uma aplicação de Connect® juntamente com a terceira aplicação de fungicida.

Figura 1. Imagem aérea do ensaio. Papanduva, SC, 2019/2020.

Figure 1. Aerial image of the trial. Papanduva, SC, 2019/2020.



Foto: André Felipe Hermann, 2019.

O controle de doenças foi realizado de forma preventiva utilizando fungicidas, focando no combate a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e complexo de manchas foliares. A primeira aplicação ocorreu em V6 e os produtos utilizados foram Elatus® (Azoxistrobina + Benzovindiflupir) + Bravonil® 720 (Clortalonil), na dosagem de 200 g ha⁻¹ e 1,5 l ha⁻¹, respectivamente. A segunda aplicação ocorreu 15 dias após a primeira e os produtos utilizados foram Fox® (Trifloxistrobina + Proticonazol) + Unizeb Gold (Mancozeb), na dosagem de 400 ml ha⁻¹ e 1,5 kg ha⁻¹, respectivamente. A terceira aplicação ocorreu 15 dias após a segunda aplicação e o produto utilizado foi Aproach® Prima (Picoxistrobina + ciproconazol), na dosagem de 400 ml ha⁻¹. A quarta aplicação ocorreu 15 dias após a terceira aplicação, utilizando o mesmo produto e dosagem da terceira aplicação.

A adubação foi realizada a partir do laudo de análise de solo, seguindo as normas do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS RS/SC 2016). A partir desta interpretação e com a expectativa de produtividade de 6 ton ha⁻¹, aplicou-se na linha de semeadura: 300 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado MicroEssential® S9 07-34-11, fornecendo 21 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 102 kg ha⁻¹ de fósforo e 33 kg ha⁻¹ de potássio. A complementação da adubação potássica foi feita em cobertura com 170 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, fornecendo 102 kg ha⁻¹ de potássio.

A colheita foi realizada manualmente a partir de 19 de março de 2020, conforme as cultivares foram

atingindo ponto de colheita (R8). Para determinar o rendimento, em cada unidade experimental foram colhidos 40 m² de área útil. As plantas foram arrancadas inteiras, os grãos trilhados e armazenados em sacos para posterior pesagem da produção e aferição da umidade dos grãos por unidade experimental. Uma amostra de grãos por parcela foi armazenada e identificada em pacotes de papel para determinar a massa de 1000 grãos. O rendimento de grãos e a massa de 1000 grãos foram calculados e expressos na umidade padrão de 13%. Antes de colher toda a área útil, foram coletadas cinco plantas por parcela e identificadas para as avaliações dos componentes do rendimento. As avaliações realizadas foram: número de legumes na haste principal, por meio de contagem simples; número de legumes nos ramos, por meio de contagem simples; número de grãos por legume, estimado em 10 vagens por planta selecionadas ao acaso.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância utilizando o teste F. Os valores de F para os efeitos principais e interações foram considerados significativos ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Quando significativas, as médias dos efeitos principais de cultivar e densidade de plantas foram comparadas pelo teste de Tukey, utilizando o aplicativo estatístico Sisvar 5.6. Quando a interação entre cultivar e densidade de plantas foi significativa, as médias foram comparadas por análise de regressão. Ambas as comparações foram feitas ao nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento de grãos na cultura da soja é determinado pelos seus componentes: número de plantas por área, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa dos grãos. A densidade de plantas altera a morfofisiologia da soja, aumentando ou diminuindo o número de ramificações conforme o arranjo utilizado. Portanto, fica evidente a importância de analisar os componentes do rendimento separando a haste principal e os ramos, para o melhor entendimento das respostas da planta às diferentes densidades (BALBINOT JUNIOR et al. 2015).

O número de vagens é o componente do rendimento que está mais vinculado à alta plasticidade da cultura da soja. Com a redução da densidade de plantas, há um aumento no número de vagens por planta. Geralmente o acréscimo desta variável tem sua maior contribuição provinda das vagens originadas dos ramos. Contudo, um comportamento interessante observado no experimento foi o aumento linear de vagens oriundas da haste principal com a redução da população de plantas (Figura 2). Isso pode estar ligado ao número de nós reprodutivos na haste principal, que aumentou com a redução de densidade populacional. A cultivar que apresentou a maior diferença no número de vagens oriundas da haste principal foi a BMX Zeus IPRO que com 120.000 plantas ha⁻¹ teve 46 vagens e na densidade de 300.000 plantas ha⁻¹ teve 34 vagens na haste principal. Esta diferença de 12 vagens alterou o número de grãos por planta, compensando a redução de densidade.

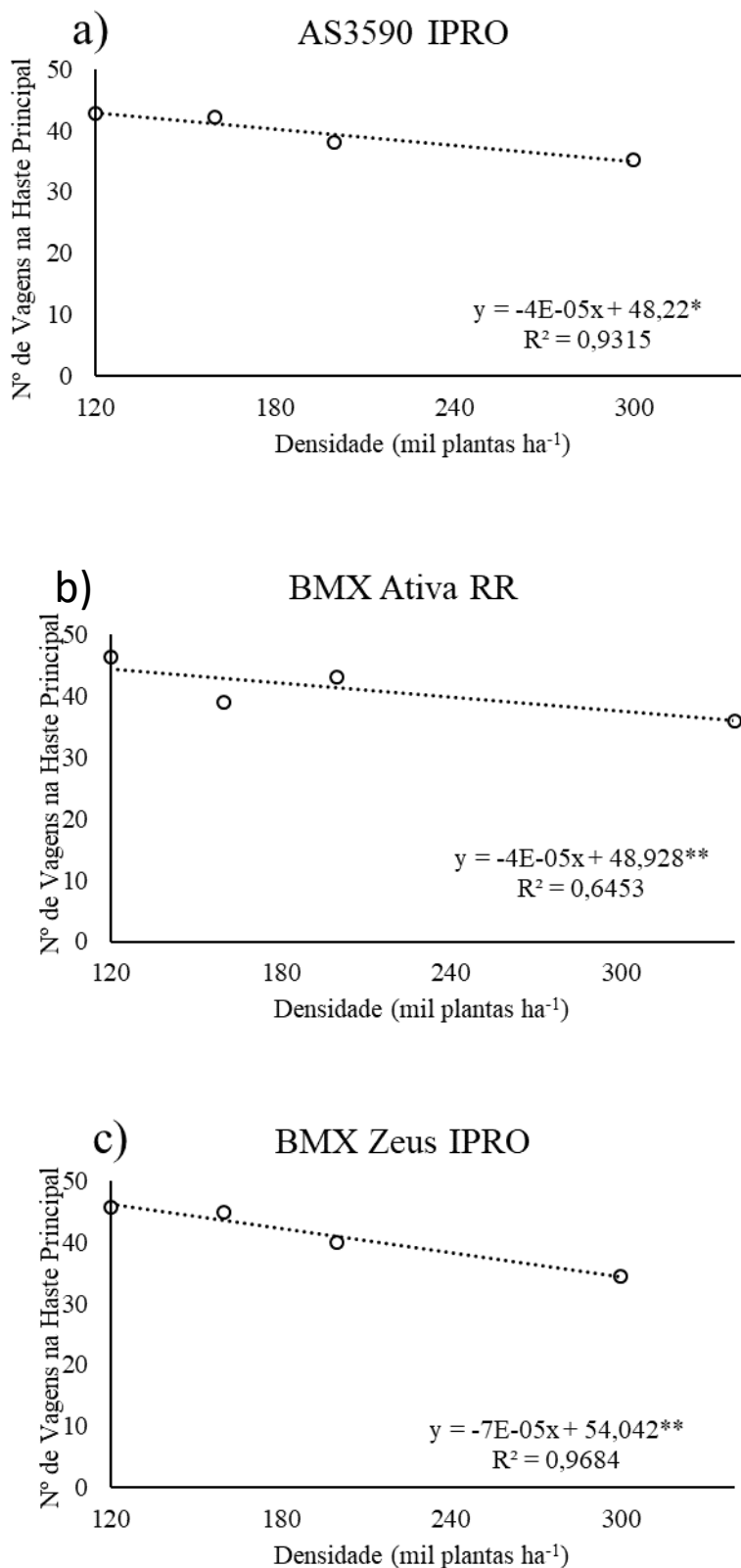
A cultivar M5838 IPRO foi a única que não apresentou incremento no número de vagens na haste principal com a variação de população. Isto reforça a ligação entre o número de nós reprodutivos e o número de vagens, pois essa cultivar evidenciou um número de nós reprodutivos constante mesmo com a variação de densidade. LIU et al. (2010) reportaram que o número de nós e o abortamento de flores estão muito ligados ao número final de vagens na haste principal das plantas de soja.

O número de vagens oriundas dos ramos é a variável que mais sofre influência da densidade de plantas, estando diretamente relacionado ao número de ramos por planta. A amplitude no número de vagens oriundas dos ramos foi relevante entre as densidades populacionais (Tabela 2). A densidade de 120.000 plantas ha⁻¹ apresentou 61,5 vagens oriundas dos ramos, na média das cinco cultivares, enquanto nas parcelas com as densidades recomendadas pelas detentoras foram produzidas 11,8. Portanto, houve uma redução de 80% no número de vagens oriundas dos ramos comparando os dois extremos de densidades utilizadas no experimento. A cada acréscimo de 40.000 plantas ha⁻¹ na densidade, houve uma redução de vagens oriunda dos ramos de aproximadamente 35%. Desta forma, o mecanismo compensatório mais expressivo foi o número de ramificações e o número de vagens oriundas destas ramificações, corroborando com os dados reportados por FERREIRA et al. (2018) e MORO et al. (2021).

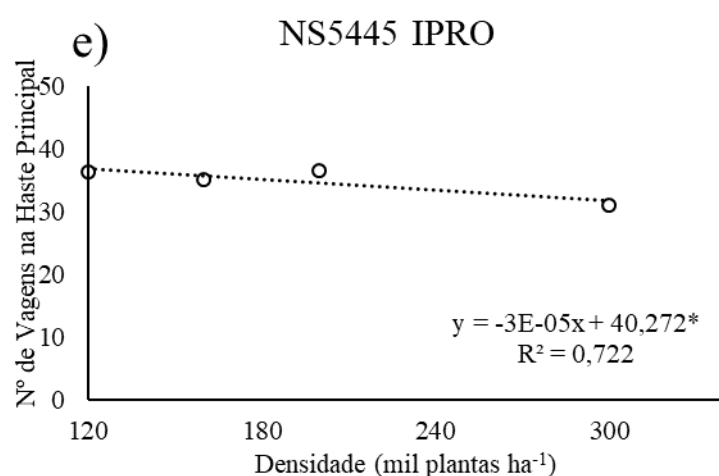
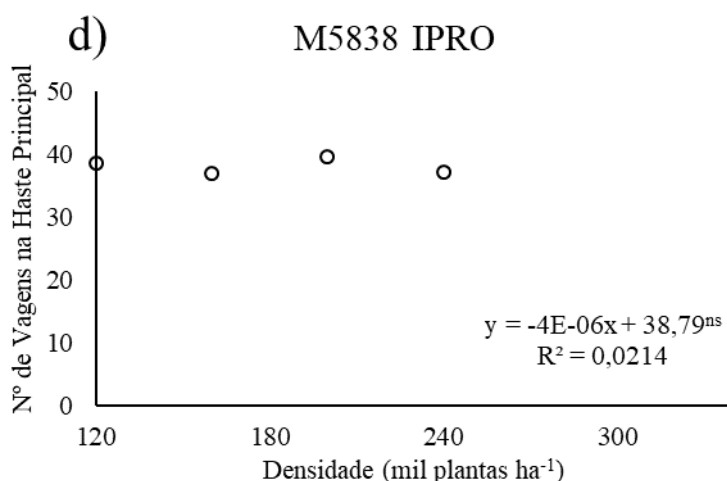
Somando as vagens oriundas da haste principal com as vagens oriundas dos ramos tem-se o número de vagens totais produzidas pela planta. Para esta variável houve diferença significativa entre as densidades (Figura 3). Na densidade de 120.000 plantas há⁻¹ foram produzidas mais de 100 vagens por planta, na média das cinco cultivares. Com o acréscimo de densidade populacional ocorreram reduções no número de vagens por planta. As densidades de 160.000 planta ha⁻¹ e 200.000 plantas ha⁻¹ produziram 77,8 e 64,7 vagens por planta, respectivamente. A densidade recomendada foi a que menos produziu vagens por planta, com valor médio de 45,9, representando uma redução de 56% em comparação com a menor densidade de plantas.

Figura 2. Número de vagens na haste principal em função da densidade de plantas. a) cultivar AS3590 IPRO, b) cultivar BMX Ativa RR, c) cultivar BMX Zeus IPRO, d) M5838 IPRO e, e) NS5445 IPRO. Papanduva, SC, 2019/2020.

Figure 2. Number of pods in the main rush as a function of plant density. a) cultivar AS3590 IPRO, b) cultivar BMX Ativa RR, c) cultivar BMX Zeus IPRO, d) M5838 IPRO and e) NS5445 IPRO. Papanduva, SC, 2019/2020.



Continua na próxima página...



ns: diferença não significativa entre as médias. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). *Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Tabela 2. Número de vagens nos ramos das plantas de soja em função da cultivar e densidade de plantas. Papanduva, SC, 2019/2020.

Table 2. Number of pods on the branches of soybean plants as a function of cultivar and plant density. Papanduva, SC, 2019/2020.

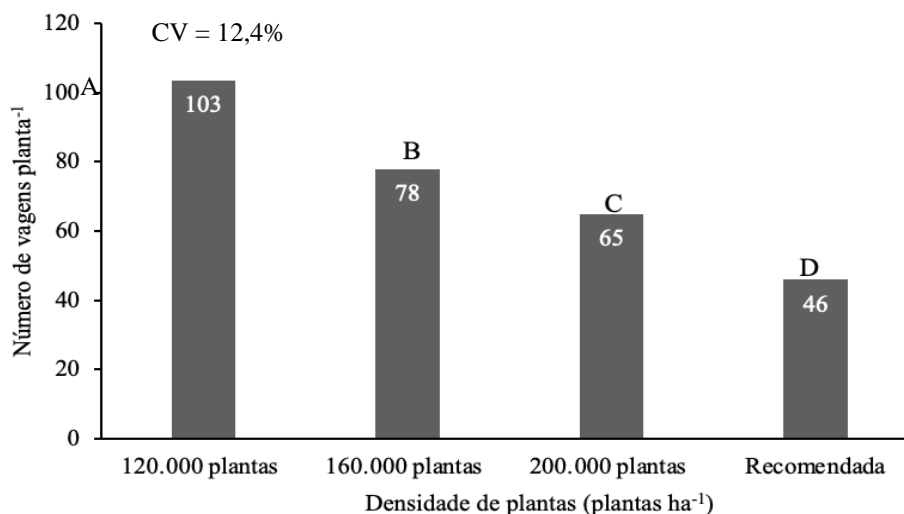
Cultivar	Densidade de plantas (x 1000 ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	120	160	200	Testemunha		
AS3590 IPRO	59,6	42,8	34,4	13,0	37,4 ab	
BMX Ativa RR	64,7	44,7	24,4	12,2	36,5 ab	
BMX Zeus IPRO	57,7	21,7	9,6	1,5	22,6 c	27,7
M5838 IPRO	68,3	49,8	32,5	18,2	42,2 a	
NS5445 IPRO	57,2	32,0	25,2	10,6	31,3 bc	
Média	61,5 A	38,19 B	25,2 C	11,8 D		
CV (%)			27,1			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV: coeficiente de variação.

O aumento no número de vagens por planta é o mecanismo compensatório mais importante para a plasticidade fenotípica da soja (BALBINOT JUNIOR et al. 2015). Nas menores densidades a cultura tende a aumentar este componente de rendimento, fazendo com que uma única planta produza vagens suficientes para compensar a ausência de outras plantas na área. Os dados obtidos no experimento corroboram as informações reportadas nos trabalhos conduzidos por PEIXOTO et al. (2000), KUSS et al. (2008), SOUZA et al. (2010) e BALBINOT JUNIOR et al. (2015).

Figura 3. Número de vagens por planta em função da densidade de plantas, na média de cinco cultivares de soja. Papanduva, SC, 2019/2020.

Figure 3. Number of pods per plant as a function of plant density, on average of five soybean cultivars. Papanduva, SC, 2019/2020.

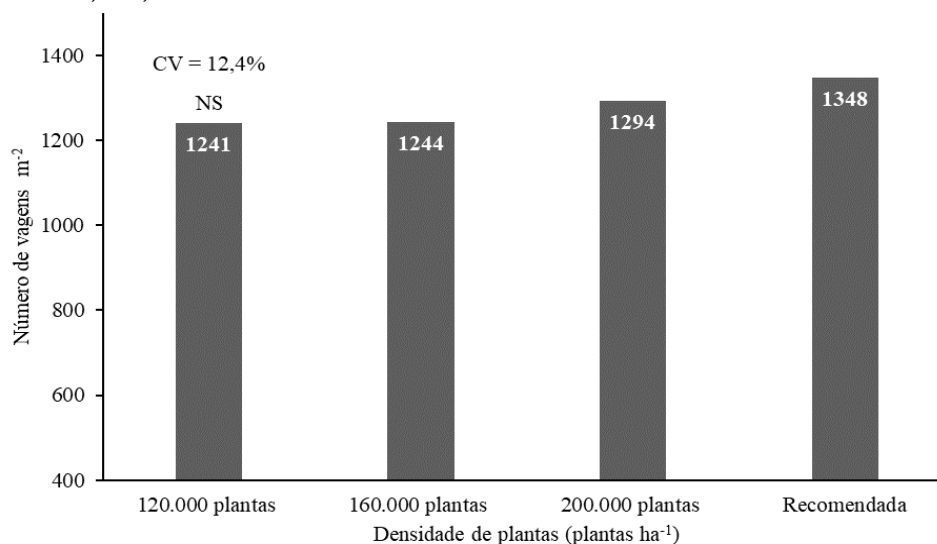


Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV: coeficiente de variação.

Através do número de vagens por planta e da densidade populacional se pode estimar o número de vagens por área. O número de vagens por m² não apresentou diferença significativa entre as densidades de plantas testadas, na média das cinco cultivares (Figura 4). Ele oscilou entre 1241 na menor densidade e 1348 na densidade recomenda pelas detentoras, representando uma diferença percentual de 8,6% da maior para a menor população. A plasticidade fenotípica é definida como a capacidade de um determinado ser vivo apresentar diferentes características em função das condições ambientais (LIMA et al. 2017). Diversas espécies vegetais apresentam plasticidade fenotípica, dentre elas a soja, sendo capaz de compensar a redução de plantas por área através do aumento da produção por planta, não evidenciando diferenças de número de vagens por área (RAMBO et al. 2003, HEIFFIG et al. 2006, BALBINOT JUNIOR et al. 2015). O presente trabalho confirmou o que estes autores constataram, mostrando que, mesmo com o avanço genético obtido com as cultivares modernas, a soja não perdeu a característica de plasticidade fenotípica e é capaz de compensar as baixas densidades com o aumento da produção por planta. Estudos futuros são necessários com a finalidade de avaliar a economia financeira da redução da densidade populacional de soja.

Figura 4. Número de vagens por m² em função da densidade de plantas, na média de cinco cultivares de soja. Papanduva, SC, 2019/2020.

Figure 4. Number of pods per m² as a function of plant density, on average of five soybean cultivars. Papanduva, SC, 2019/2020.



NS: Diferenças entre médias não significativas. CV: coeficiente de variação.

O número de grãos por vagem apresentou diferença significativa entre as cultivares e não foi afetado pela densidade de plantas (Tabela 3). Isso mostra que este componente do rendimento é fortemente ligado à características genéticas das cultivares, sendo pouco afetado pelo manejo do arranjo populacional. Este resultado corrobora com o registrado no trabalho realizado por MANDA & MATAA (2020), onde as densidades de plantas não interferiram no número de grãos por vagem e somente as cultivares se diferenciaram para essa variável. A cultivar BMX Zeus IPRO foi a que apresentou maior número de grãos por vagem (2,73). Dentre as cultivares do ensaio, essa foi a mais nova em termos de lançamento e comercialização, o que mostra que o melhoramento genético vem avançando e trazendo para o mercado cultivares com maior potencial produtivo. A cultivar que apresentou o menor número médio de grãos por vagem foi a M5838 IPRO, com 2,5 grãos.

Tabela 3. Número de grãos por vagem em função da cultivar e densidade de plantas. Papanduva, SC, 2019/2020.

Table 3. Number of grains per pod as a function of cultivar and plant density. Papanduva, SC, 2019/2020.

Cultivar	Densidade de plantas (x1000 ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	120	160	200	Testemunha		
AS3590 IPRO	2,51	2,49	2,53	2,58	2,52 b	5,23
BMX Ativa RR	2,62	2,46	2,68	2,60	2,59 ab	
BMX Zeus IPRO	2,74	2,63	2,87	2,68	2,73 a	
M5838 IPRO	2,54	2,45	2,53	2,48	2,50 b	
NS5445 IPRO	2,58	2,65	2,68	2,63	2,63 ab	
Média	2,60	2,53	2,66	2,59 NS		
CV (%)	5,22					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. NS: Diferenças entre médias não significativas na linha. CV: coeficiente de variação.

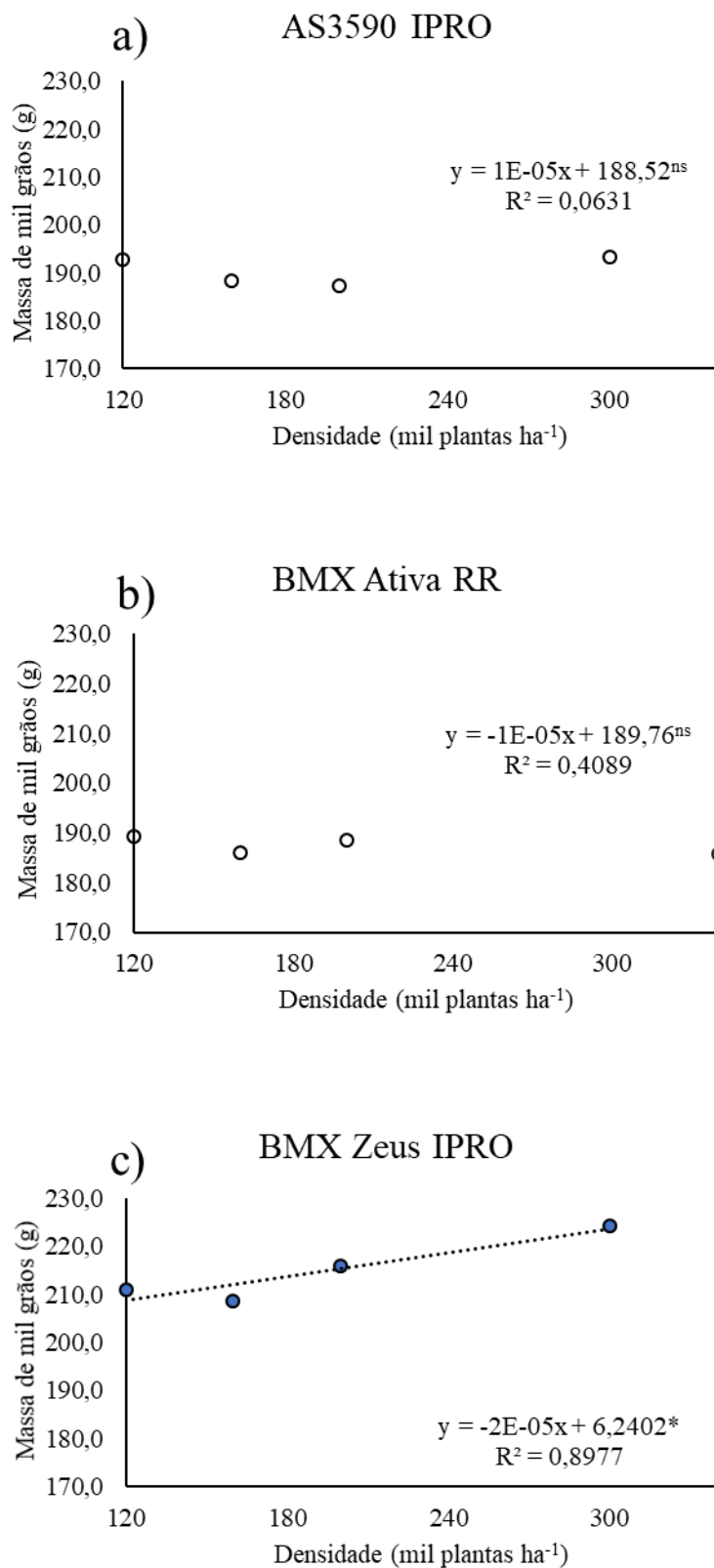
Para o peso de mil grãos houve interação significativa para cultivar e densidade de plantas (Figura 6). As cultivares BMX Zeus IPRO e NS5445 IPRO foram as únicas que apresentaram regressão linear significativa. Com o aumento da densidade populacional para essas cultivares, houve aumento linear no PMG. O maior PMG foi da cultivar BMX Zeus IPRO com 224 gramas na população recomendada pela detentora. Essa cultivar obteve o maior PMG em todas as densidades de plantas. O menor PMG foi obtido pela cultivar M5838 IPRO com 174 gramas na população recomendada pela detentora.

Em trabalho realizado KUSS et al. (2008) também foi constatado o aumento no peso de grãos com o incremento de densidade de plantas. Segundo CARVALHO et al. (2002) e PERINI et al. (2012), o aumento do PMG em decorrência do aumento da densidade populacional pode ser explicado pelo efeito compensatório entre os componentes de rendimento que a soja comumente faz quando submetida a diferentes arranjos populacionais. Com a redução no número de vagens por planta, há tendência de que o tamanho e, conseqüentemente, a massa dos grãos aumente. Contrário a esse resultado, PETTER et al. (2016) observaram uma redução no PMG com o aumento da densidade populacional. No entanto, os extremos em densidade de plantas avaliadas no trabalho foram de 200.000 e 600.000 plantas ha⁻¹. De modo geral, as variações nesse componente de rendimento não estão ligadas a questões de manejo cultural. Elas se devem principalmente às características genéticas da cultivar, à disponibilidade hídrica no período de enchimento de grãos e à incidência e severidade de doenças foliares como ferrugem asiática e manchas foliares (BALBINOT JUNIOR et al. 2015).

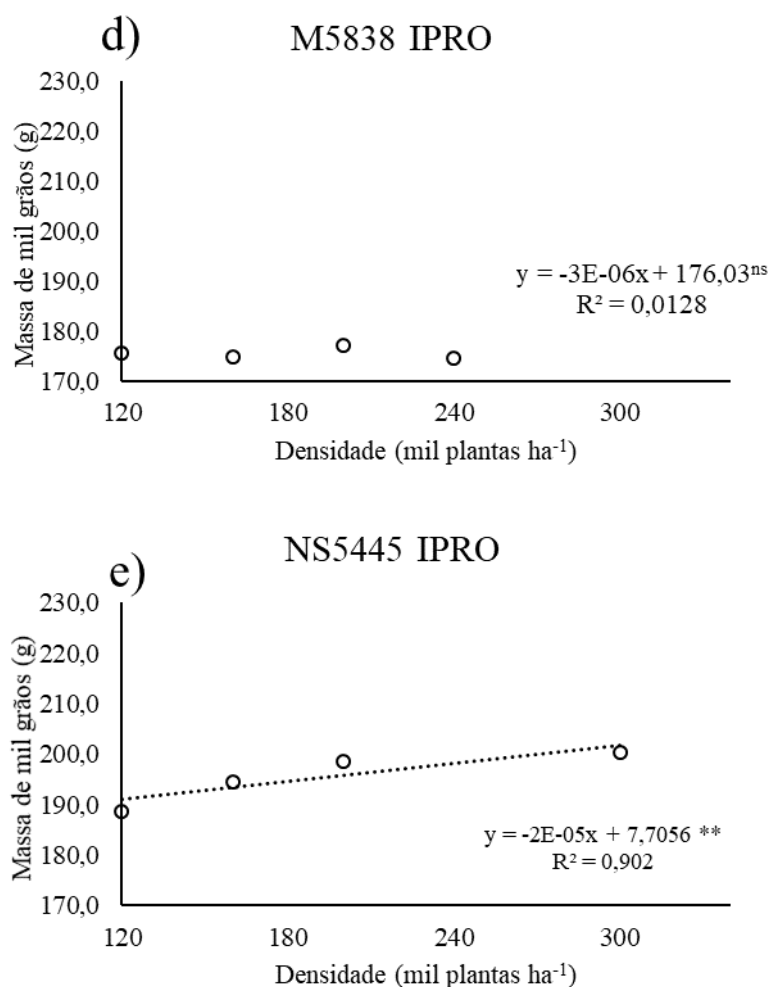
O rendimento de grãos não apresentou diferenças significativas entre as cultivares e nem entre as densidades populacionais. Ele variou entre 5.062 e 5.303 kg ha⁻¹, na média das cinco cultivares, o que representa uma diferença percentual de 4,7% entre a maior e a menor produtividade (Figura 6). Isto confirma que a cultura da soja possui grande plasticidade fenotípica, compensando as baixas densidades populacionais com o aumento de ramificações, do número de vagens e do número de grãos por indivíduo, fazendo com que cada planta aumente sua capacidade produtiva, permitindo a manutenção do rendimento em uma ampla faixa de densidades. Os rendimentos médios das cultivares estão expressos na Figura 6. A cultivar com maior produtividade média foi a BMX Zeus IPRO com 5.304 kg ha⁻¹ e a com menor produtividade foi a AS3590 IPRO com 4.947 kg ha⁻¹. Estes dados comprovam que mesmo reduzindo a densidade populacional mais que a metade das populações recomendadas pelas detentoras, o potencial produtivo foi alto na média das quatro densidades, quando comparado a produtividade média catarinense e brasileira, 3.359 kg ha⁻¹ e 3.273 kg ha⁻¹, respectivamente, na safra 2019/20 (EPAGRI 2020, CONAB 2020).

Figura 5. Massa de mil grãos (g) em função da densidade de plantas. a) cultivar AS3590 IPRO, b) cultivar BMX Ativa RR, c) cultivar BMX Zeus IPRO, d) M5838 IPRO e, e) NS5445 IPRO. Papanduva, SC, 2019/2020.

Figure 5. Thousand grain mass (g) as a function of plant density. a) cultivar AS3590 IPRO, b) cultivar BMX Ativa RR, c) cultivar BMX Zeus IPRO, d) M5838 IPRO and e) NS5445 IPRO. Papanduva, SC, 2019/2020.



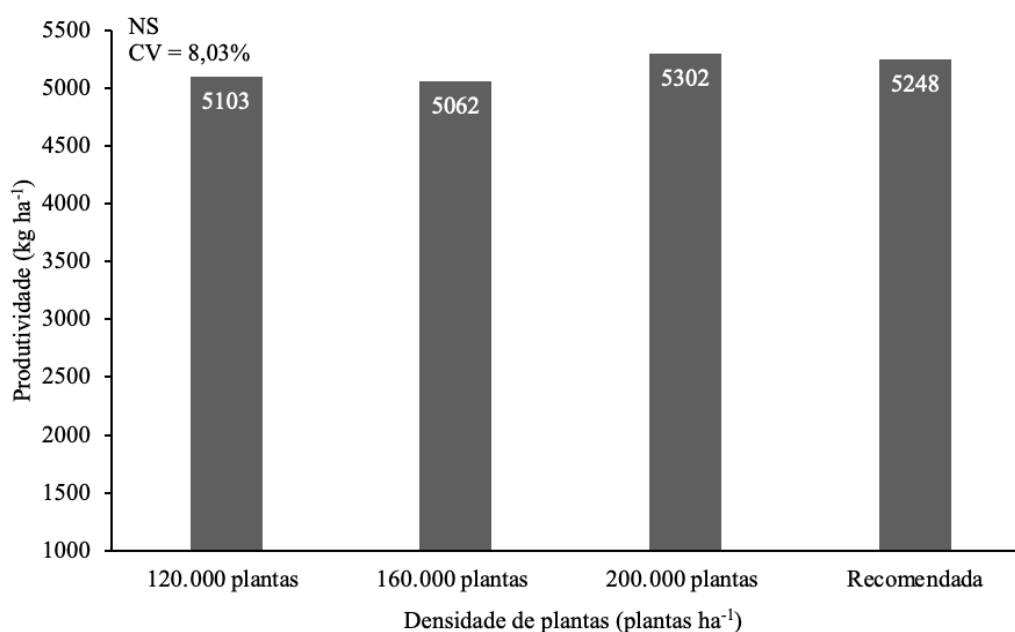
Continua na próxima página...



ns: diferença não significativa entre as médias. **significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). *Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Figura 6. Produtividade (kg ha⁻¹) em função da densidade de plantas, na média de cinco cultivares de soja. Papanduva, SC, 2019/2020.

Figure 6. Productivity (kg ha⁻¹) as a function of plant density, on average of five soybean cultivars. Papanduva, SC, 2019/2020.



NS: Diferenças entre médias não significativas. CV: coeficiente de variação.

Pensando no aspecto econômico, a similaridade nos valores de rendimento registrados nas diferentes densidades é um ótimo resultado, pois utilizando menos sementes por área foi possível alcançar o mesmo nível de produtividade das densidades recomendadas atualmente pelas detentoras. A redução na densidade de semeadura pode ser uma estratégia importante para reduzir os custos de produção sem que ocorra perdas em rendimento. A Tabela 4 apresenta um exemplo prático econômico bastante simples demonstrando a redução de custos que o produtor pode obter com a redução de densidade de semeadura.

Tabela 4. Exemplo prático econômico de redução de custos com a redução da densidade populacional de sementes. Papanduva, SC, 2019/2020.

Table 4. Practical economic example of cost reduction by reducing seed population density. Papanduva, SC, 2019/2020.

Densidade (plantas/ha)	kg semente ha ⁻¹	Custo por hectare (R\$) ²
300.000	60	R\$702,00
120.000	24	R\$280,80
Redução	36	R\$421,20

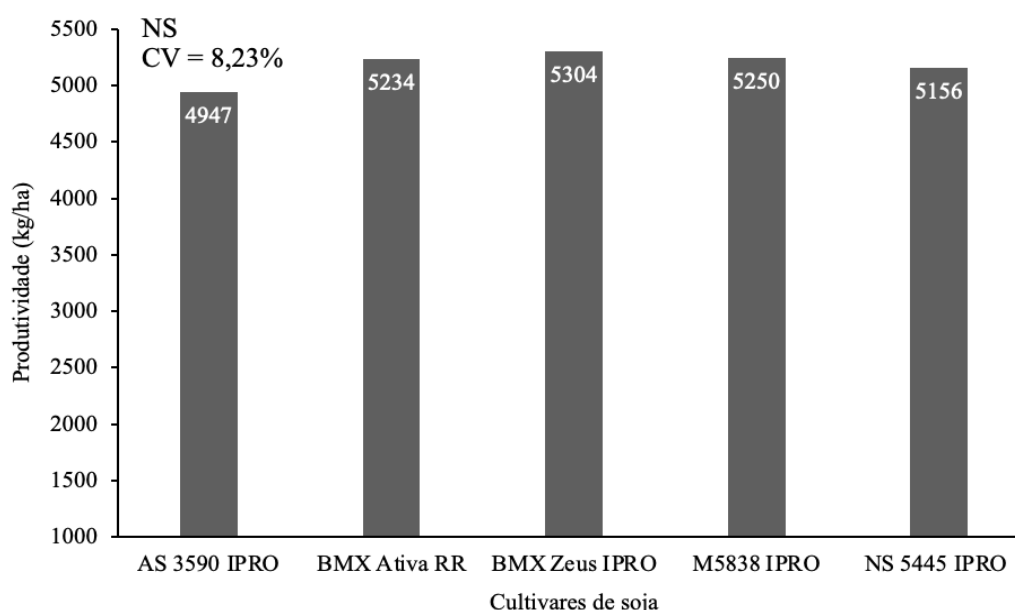
¹PMS: Peso de mil sementes – 0,2 kg⁻¹. ²Preço médio kg⁻¹ semente R\$11,70.

No entanto, é importante enfatizar que nesse experimento a distribuição das plantas foi uniformizada, deixando-as equidistantes, não havendo falhas e espaços desuniformes. As falhas podem causar um baixo aproveitamento dos recursos e, conseqüentemente, a redução de produtividade. Portanto, para utilizar baixas densidades de semeadura é muito importante que as sementes utilizadas sejam de alta qualidade fisiológica. Além disto, a semeadora deve ser de alta precisão e realizar a distribuição o mais uniforme possível. Esses aspectos são importantes para garantir uma boa distribuição e estabelecimento das plantas na área.

O comportamento do rendimento de grãos corroborou as informações reportadas nos trabalhos realizados por RODRIGUES et al. (2011), BALBINOT JUNIOR et al. (2015), BÜCHLING et al. (2017) e WERNER et al. (2021), onde a variação na densidade de plantas não afetou a produtividade, reafirmando a plasticidade fenotípica da cultura da soja.

Figura 7. Produtividade (kg ha⁻¹) das cinco cultivares na média das quatro densidades populacionais. Papanduva, SC, 2019/2020.

Figure 7. Productivity (kg ha⁻¹) of the five cultivars in the average of the four population densities. Papanduva, SC, 2019/2020.



NS: Diferenças entre médias não significativas. CV: coeficiente de variação.

A redução na densidade de plantas é uma prática que vem sendo adotada com o passar dos anos na cultura da soja (FERREIRA et al. 2018). Isso ocorreu porque a semente se tornou um insumo com alto valor agregado com as biotecnologias incorporadas e o incremento na qualidade fisiológica, aumentando os custos do produtor no momento da compra. Contudo, é importante ressaltar que a prática de reduzir a

densidade populacional necessita de produtores tecnificados, que investem em sementes de qualidade com alta germinação e vigor, semeadoras com alta precisão na distribuição das sementes e controles fitossanitários eficientes principalmente no manejo de plantas daninhas. Sementes de baixa qualidade e má distribuição podem comprometer o aproveitamento dos recursos da área e conseqüentemente reduzir a produtividade de grãos por unidade de área. São necessários novos estudos nesta e em outras mesorregiões a fim de identificar o comportamento de cultivares de soja em função de microclimas e manejos culturais.

CONCLUSÃO

A redução da densidade populacional de plantas dos valores recomendados pelas detentoras das cultivares para 120.000 plantas por hectare não reduz o rendimento de grãos da cultura da soja na região do Planalto Norte Catarinense.

A redução na densidade de plantas é uma estratégia que pode ser adotada no Planalto Norte Catarinense, contribuindo para a redução dos custos de implantação das lavouras de soja sem comprometer o desempenho agrônomo da cultura.

Mais estudos são necessários avaliando o impacto financeiro e a rentabilidade da prática.

REFERÊNCIAS

- BALBINOT JUNIOR AA et al. 2015. Densidade de plantas na cultura da soja. Londrina: Embrapa Soja. 36p. (Documentos 364).
- BALBINOT JUNIOR AA et al. 2018. Semeadura cruzada em cultivares de soja com tipo de crescimento determinado. *Revista de Ciências Agrárias* 36: 1215-1226.
- BONATO ER & BONATO ALV. 1987. A soja no Brasil: história e estatística. Londrina: Embrapa Soja. 61p.
- BUCHLING C et al. 2017. Uso da plasticidade morfológica como estratégia para a redução de plantas em cultivares de soja. *Revista Agrarian* 10: 22-30.
- CARMO EL et al. 2019. Phytosanitary risks and agronomic performance of soybeans associated with spatial arrangements of plants. *Bioscience Journal* 35: 806-817.
- CARVALHO PGC et al. 2002. Correlação e análise de trilha em linhagens de soja semeadas em diferentes épocas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37: 311-320.
- CQFS RS/SC. 2016. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 2.ed. Porto Alegre: CQFS. 376p.
- CONAB. 2020. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília: CONAB. 18p. (Boletim Técnico 12).
- EPAGRI. 2020. Boletim agropecuário junho/2020. Florianópolis: CEPA. 55p. (Boletim Técnico 315).
- FERREIRA AS et al. 2018. Plant spatial arrangement affects grain production from branches and stem of soybean cultivars. *Bragantia* 77: 567-576.
- HEIFFIG LS et al. 2006. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. *Bragantia* 65: 285-295.
- KOTTEK M et al. 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol* 15: 259-263.
- KUMAGAI E. 2020. Agronomic responses of soybean cultivars to narrow intra-row spacing in a cool region of northern Japan. *Plant Production Science* 24: 29-40.
- KUSS RC et al. 2008. Populações de plantas e estratégias de manejo da irrigação na cultura da soja. *Ciência Rural* 38: 1133-1137.
- LI S et al. 2021. Estimating the contribution of plant traits to light partitioning in simultaneous maize/soybean intercropping. *Journal of Experimental Botany* 72: 3630-3646.
- LIMA N et al. 2017. Plasticidade Fenotípica. *Revista de Ciência Elementar* 5: 2-5.
- LIU B et al. 2010. Soybean yield and yield component distribution across the main axis in response to light enrichment and shading under different densities. *Plant, Soil and Environment* 56: 384-392.
- MANDA N & MATAA M. 2020. Responses of soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill) associated with variable plant density stress applied at different phenological stages: Plasticity or elasticity? *African Journal of Biotechnology* 19: 307-319.
- MORO FS et al. 2021. Produtividade de grãos em soja e seus componentes sob diferentes densidades de plantio. *Revista Tecno-lógica* 25: 314-319.
- MUNIZ AF et al. 2021. Distribution of soybean plants with a vacuum seeder. *Brazilian Journal of Development* 7: 98756-98772.
- PEIXOTO CP et al. 2000. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: Componentes da produção e rendimento de grãos. *Scientia Agricola* 57: 89-96.
- PERINI AF et al. 2012. Components of the production in soybean cultivars with determinate and indeterminate growth. *Semina: Ciências Agrárias* 33: 2531-2544.
- PETTER AF et al. 2016. Does high seeding density increase soybean productivity? Photosynthetically active radiation responses. *Bragantia* 75: 173-183.
- POTTER OR et al. 2004. Solos do estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 745p.

- RAMBO L et al. 2003. Soybean yield response to plant arrangement. *Ciência Rural* 33: 405-411.
- RITCHIE SW et al. 1977. How soybean plant develops. Iowa: AMES. 20p.
- RODRIGUES O et al. 2011. Rendimento de grãos de soja: efeito do espaçamento e da densidade. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*. Passo Fundo: Embrapa Trigo. 15p. (Boletim Técnico 17).
- SILVA RFF & DOBASHI AF. 2021. Análise do custo de produção da safra 2021/2022 de soja no Mato Grosso do Sul. *APROSOJA*. 4p.
- SILVA AC et al. 2018. A importância da soja para o agronegócio brasileiro: uma análise sob o enfoque da produção, emprego e exportação. Disponível em: http://www.apec.unesc.net/V_EEC/sesoes_tematicas/Economia%20rural%20e%20agricultura%20familiar/A%20IMPORT%C3%82NCIA%20DA%20SOJA%20PARA%20O%20AGRONEG%C3%93CIO%20BRASILEIRO.pdf. Acesso em: 20 jan. 2020.
- SOUZA CA et al. 2010. Relação entre densidade de plantas e genótipos de soja Roundup Ready. *Planta Daninha* 28: 887-896.
- UMBURANAS RC et al. 2022. Changes in soybean cultivars released over the past 50 years in southern Brazil. *Scientific Reports* 12: e121.
- VAN ROEKEL RJ et al. 2015. Physiological and management factors contributing to soybean potential yield. *Field Crops Research* 182: 86-97.
- WERNER F et al. 2021. Grain, oil and protein production on soybean stems and branches under reduced densities. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 16: e7439.