

ANDRÉ FELIPE HERMANN DERETTI

**RESPOSTA DE CULTIVARES DE SOJA À REDUÇÃO NA DENSIDADE DE
PLANTAS NO PLANALTO NORTE CATARINENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, na Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Luís Sangoi

**Lages, SC
2021**

Deretti, André Felipe Hermann
RESPOSTA DE CULTIVARES DE SOJA À REDUÇÃO
NA
DENSIDADE DE PLANTAS NO PLANALTO NORTE
CATARINENSE / André Felipe Hermann Deretti. -- 2021.
83 p.

Orientador: Luis Sangoi
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação , Lages, 2021.

1. Glycine max (L) Merrill. 2. Arranjo de plantas. 3.
Sensoriamento remoto. 4. Rendimento de grãos. I. Sangoi,
Luis. II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação . III.
Título.

ANDRÉ FELIPE HERMANN DERETTI

RESPOSTA DE CULTIVARES DE SOJA À REDUÇÃO NA DENSIDADE DE PLANTAS NO PLANALTO NORTE DE SANTA CATARINA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Banca examinadora

Orientador: _____

Professor Dr. Luis Sangoi

Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV-UDESC).

Membro: _____

Professor Dr. Clóvis Arruda de Souza

Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV-UDESC).

Membro: _____

Dr. Murilo Miguel Durlí, Helix Sementes e Mudas, Grupo Agroceres

Lages, SC, 30 de julho de 2021.

A Deus e a minha família, principalmente a
minha mãe Ana Maria Hermann e meu tio
José Hermann

Ofereço e dedico!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por toda luz, sabedoria e fé.

A minha mãe Ana Maria Hermann, ao meu tio José Hermann e toda a minha família, pelo apoio, conselhos, auxílios e inspirações. Eles sempre foram pilares extremamente importantes para meu crescimento.

A toda família Reusing que sempre me acolheu e foi parte fundamental para o meu crescimento pessoal e profissional, a qual tenho imenso respeito e admiração.

Ao meu orientador Luís Sangoi, pela confiança depositada em minha capacidade, acolhimento em sua equipe, ensinamentos e auxílios, principalmente pelo exemplo de profissional com princípios, ética e companheirismo, ao qual tenho grande admiração e carinho.

Ao meu grande amigo e Eng. Agrônomo Valdeci Castagneti que abriu as portas para que eu realizasse meu trabalho no Planalto Norte Catarinense. E muito mais que isso, confiou no meu potencial como profissional, me ajudou no momento mais difícil da minha vida, sempre disposto a me auxiliar e compartilhar seu vasto conhecimento em agricultura. É em quem me espelho para cada vez mais ser um bom profissional.

A Agrícola Igarashi, em especial ao Nelson Bosse, que permitiu a realização do experimento nas áreas da fazenda utilizando as máquinas, insumos e toda a estrutura. Agradeço também aos colaboradores Ivan, Jânio, Wandecir e Cristiano que me ajudaram muito na implantação, condução e colheita do experimento.

Aos membros e amigos do grupo “Zea mays” Hugo, Mayumi, Marcelo, Lucas, Jardel e Rafael, por todo o auxílio e companheirismo durante esta jornada. Um agradecimento especial para minha amiga Lucieli e meu amigo Marcos, por todos os ensinamentos, ajudas e companheirismo no decorrer do mestrado. E alguns que porventura possa ter me esquecido, muito obrigado.

Aos meus amigos, em especial ao Guilherme Castagneti, que me acolheu em Lages durante vários períodos durante a pandemia do Corona Vírus, por todo o apoio e companheirismo.

A minha namorada Milena Amaral por sempre estar me apoiando e incentivando a cada vez ir mais longe e por me auxiliar na dissertação.

Ao laboratório de fitopatologia do CAV/UDESC, em especial ao professor Ricardo T. Casa e ao meu amigo Flávio C. Martins que me ajudaram muito no decorrer do mestrado.

Ao professor Marcos B. Schimalski e sua equipe, em especial a Gabriela Oliveira e ao Roni E. Pavarin, que não mediram esforços para me auxiliar no desenvolvimento e tratamento dos dados obtidos por sensoriamento remoto, parte essa que agregou enormemente ao meu trabalho.

A todos os professores do quadro docente do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, pela dedicação e pelos ensinamentos nas disciplinas ministradas.

Aos amigos e colegas de estudos que de alguma forma colaboraram e compartilharam conhecimentos.

À Universidade do Estado de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agroveterinárias, pelo ensino público e de qualidade.

Enfim, a todas as pessoas que de certa forma compactuaram e auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

Muito Obrigado!!!

“Nesta jornada terrena, aprende muito quem anda. Sempre que a alma se agranda a estrada fica pequena.”

Luiz Marengo

RESUMO

A densidade de plantas é uma prática de manejo relevante para obtenção de altas produtividades na cultura da soja (*Glycine max* (L) Merrill). Ela sofreu alterações significativas nos últimos anos, em função da evolução genética, morfológica e fisiológica das novas cultivares. Nas décadas de 80 e 90, recomendava-se implantar as lavouras com populações acima de 400.000 plantas ha⁻¹. Atualmente, as densidades foram reduzidas, sendo usadas populações entre 200.000 e 400.000 plantas ha⁻¹. A tendência de diminuir a população de plantas é crescente devido ao alto custo das sementes. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a resposta de cultivares de soja expressivas no Planalto Norte Catarinense à redução na densidade de plantas. O experimento foi implantado no município de Papanduva – SC, durante a safra 2019/20. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso dispostos em parcelas subdivididas, num esquema fatorial 5 x 4. Nas parcelas principais foram avaliadas cinco cultivares: AS3590 IPRO, BMX Ativa RR, BMX Zeus IPRO, M5838 IPRO e NS 5445 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 com as densidades indicadas pelas detentoras para cada cultivar. A semeadura foi feita em 11/11/2019. Foram realizadas avaliações morfológicas, do rendimento de grãos e seus componentes. Foram feitas também análises de índice de área foliar, altura de planta e densidade populacional da cultura através de sensoriamento remoto. Os dados foram analisados estatisticamente pelo teste F, ao nível de 5% de significância. Quando significativas, as médias dos efeitos principais de cultivar e densidade foram comparadas pelo teste de Tukey e as médias da interação entre os fatores por análise de regressão. A redução na população de plantas não afetou o índice de área foliar no início do enchimento de grãos, que apresentou valor médio de 5,5, o número de vagens por área, que variou de 1.241 à 1.348 vagens por m² e o número de grãos por vagem, que foi de 2,6, na média das 4 densidades populacionais. Também não houve efeito da densidade sobre o índice de colheita e o rendimento de grãos, que foi de 5.179 kg ha⁻¹. Por outro lado, a redução na densidade diminuiu a estatura de planta, aumentou o diâmetro da haste e incrementou o número de vagens nos ramos e por planta. As análises de sensoriamento remoto mostraram que em todas as densidades a cultura atingiu um índice de cobertura do solo superior a 95% a partir do dia 6 de janeiro de 2020, quando

a cultura estava no estágio R2. A principal conclusão do trabalho é que as cultivares de soja testadas no experimento possuem grande plasticidade fenotípica, suportando reduções de população de plantas sem afetar o rendimento de grãos no Planalto Norte Catarinense.

Palavras-chave: *Glycine max* (L) Merrill, Arranjo de Plantas, Sensoriamento Remoto, Rendimento de Grãos.

ABSTRACT

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

The plant density is an important management practice to reach high grain yields with the soybean (*Glycine max* (L) Merrill) crop. It presented significant changes in recent years, due to the genetic, morphological and physiological evolution of the new cultivars. In the 80s and 90s of the last century, researchers recommended to grow soybean crops with populations above 400,000 plants ha⁻¹. Currently, plant population have been reduced to values ranging from 200,000 to 400,000 plants ha⁻¹. The tendency to decrease plant population is increasing due to the high cost of the seeds. This work was carried out with the objective of evaluating the response of expressive soybean cultivars in the North Plateau of Santa Catarina to the reduction of plant population. The experiment was set in the municipality of Papanduva - SC, during the 2019/2020 growing season. The experimental design was a randomized block arranged in split plots, using a 5 x 4 factorial scheme. Five cultivars were evaluated in the main plots: AS3590 IPRO; BMX Active RR; BMX Zeus IPRO; M5838 IPRO and NS 5445 IPRO. Four population densities were tested in the split plots: 120,000 plants ha⁻¹, 160,000 plants ha⁻¹, 200,000 plants ha⁻¹ and the control with the density indicated by the owners for each cultivar. The sowing was performed on 11/11/2019. Morphological plant traits, grain yield and yield components were evaluated. Analyzes of leaf area index, plant height and population density of the crop were also performed through remote sensing. The data were statistically analyzed by the F test, at the 5% significance level. When significant, means of the main factors (cultivars and plant density) were compared using the Tukey's test. Means of the interaction between cultivars and plant densities were assessed by regression analysis. The reduction of plant population did not affect the leaf area index, which had an average value of 5.5 at the beginning of grain filling, the number of pods per area, which ranged from 1,241 to 1,348 pods per m² and the number of grains per pod, which was 2.6, on average of the four population densities. There were no significant effects of plant density on the harvest index and grain yield, which reached 5,179 kg ha⁻¹. On the other hand, the reduction of plant density decreased plant height, increased stem diameter and enhanced the number of pods on branches and per plant. The remote sensing analysis showed that in plant densities the crop covered more than 95% of the experimental

area on January 6th, when plants were at the growth stage of R2. The major conclusion of this work is that the soybean cultivars used in the trial have great phenotypic plasticity, supporting plant population reductions without affecting their grain yield in the North Plateau of Santa Catarina.

Key words: *Glycine max* (L) Merrill, Plant Arrangement, remote sensing, Grain yield.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 — Precipitação (mm), temperatura mínima, média e máxima diária no período de 11/11/2019 a 30/03/2020. Estação meteorológica da EPAGRI em Santo Antônio, município de Itaiópolis - SC..... 38
- Figura 2 — Inserção da primeira vagem (cm) em função da densidade de plantas de soja. a) cultivar AS3590 IPRO, b) cultivar BMX Ativa RR, c) cultivar BMX Zeus IPRO, d) M5838 IPRO e d) NS5445 IPRO. Papanduva, SC, 2019/2020..... 42
- Figura 3 — Número de ramos por planta em função da densidade de plantas de soja. a) cultivar AS3590 IPRO, b) cultivar BMX Ativa RR, c) cultivar BMX Zeus IPRO, d) M5838 IPRO e d) NS5445 IPRO. Papanduva, SC, 2019/2020..... 44
- Figura 4 — Número de vagens na haste principal da soja em função da densidade de plantas de soja. a) cultivar AS3590 IPRO, b) cultivar BMX Ativa RR, c) cultivar BMX Zeus IPRO, d) M5838 IPRO e d) NS5445 IPRO. Papanduva, SC, 2019/2020..... 48
- Figura 5 — Número de vagens por planta em função da densidade de plantas, na média de cinco cultivares de soja. Papanduva, SC, 2019/2020..... 51
- Figura 6 — Número de vagens por m² em função da densidade de plantas de soja, na média de cinco cultivares de soja. Papanduva, SC, 2019/2020. .. 52
- Figura 7 — Massa de mil grãos (g) em função da densidade de plantas de soja. a) cultivar AS3590 IPRO, b) cultivar BMX Ativa RR, c) cultivar BMX Zeus IPRO, d) M5838 IPRO e d) NS5445 IPRO. Papanduva, SC, 2019/2020. 54
- Figura 8 — Produtividade (kg ha⁻¹) em função da densidade de plantas da soja, na média de cinco cultivares de soja. Papanduva, SC, 2019/2020..... 55
- Figura 9 — Produtividade (kg ha⁻¹) das cinco cultivares de soja na média das quatro densidades populacionais. Papanduva, SC, 2019/2020. 56
- Figura 10 — Imagem de satélite do estado de Santa Catarina – Brasil..... 60
- Figura 11 — Imagem de satélite com os limites do município de Papanduva - Santa Catarina. 60
- Figura 12 — Imagem de satélite talhão Tilápia – Agrícola Igarashi Eireli 61

Figura 13 — Imagem aérea do experimento obtida por VANT. Papanduva, SC, 2019/2020.....	61
Figura 14 — Polígonos de cobertura do solo pelo dossel das cultivares de soja em diferentes populações. Papanduva, SC, 2019/2020.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 —	Cultivares de soja com suas densidades testadas e as testemunhas de acordo com a população ótima determinada pela detentora para a época e região de semeadura.	33
Tabela 2 —	Altura de planta (cm) da soja em função da cultivar e densidade de plantas. Papanduva, SC, 2019/2020.	40
Tabela 3 —	Número de nós da haste principal da soja em função das cinco cultivares e densidade de plantas. Papanduva, SC, 2019/2020.	41
Tabela 4 —	Diâmetro da haste (mm) da soja em função da cultivar e densidade de plantas. Papanduva, SC, 2019/2020.	45
Tabela 5 —	Índice de área foliar da soja em função da cultivar e densidade de plantas. Papanduva, SC, 2019/2020.	47
Tabela 6 —	Número de vagens nos ramos das plantas de soja em função da cultivar e densidade de plantas. Papanduva, SC, 2019/2020.	49
Tabela 7 —	Número de grãos por vagem em função da cultivar e densidade de plantas de soja. Papanduva, SC, 2019/2020.	53
Tabela 8 —	Exemplo econômico da redução de custos com a diminuição da densidade populacional de sementes da soja. Papanduva, SC, 2019/2020.	57
Tabela 9 —	Índice de colheita (%) da soja em função da cultivar e densidade de plantas. Papanduva, SC, 2019/2020.	58
Tabela 10 —	Total de Erros de precisão nos eixos X, Y e Z. Erro total nas três dimensões, erro em pixel e número de projeções por data de voo. Papanduva, SC, 2019/2020.	63
Tabela 11 —	Índice de cobertura do solo para as cinco cultivares de soja e quatro densidades de plantas na data de 14 de dezembro de 2019. Papanduva, SC, 2019/2020.	64
Tabela 12 —	Índice de cobertura do solo para as cinco cultivares de soja e quatro densidades de plantas na data de 20 de dezembro de 2019. Papanduva, SC, 2019/2020.	64

Tabela 13 — Índice de cobertura do solo para as cinco cultivares de soja e quatro densidades de plantas na data de 24 de dezembro de 2019. Papanduva, SC, 2019/2020.....	65
Tabela 14 — Índice de cobertura do solo para as cinco cultivares de soja e quatro densidades de plantas na data de 30 de dezembro de 2019. Papanduva, SC, 2019/2020.....	66
Tabela 15 — Índice de cobertura do solo para as cinco cultivares e quatro densidades de plantas na data de 06 de janeiro de 2020. Papanduva, SC, 2019/2020.....	67
Tabela 16 — Índice de cobertura do solo para as cinco cultivares e quatro densidades de plantas na data de 13 de janeiro de 2020. Papanduva, SC, 2019/2020.....	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	25
2.2	ARRANJO DE PLANTAS	26
2.3	SENSORIAMENTO REMOTO	30
3	MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	32
3.2	TRATAMENTOS.....	32
3.3	TRATOS CULTURAIS.....	33
3.4	CARACTERÍSTICAS AVALIADAS.....	35
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1	CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO PERÍODO EXPERIMENTAL ..	38
4.2	ANÁLISES MORFOLÓGICAS.....	39
4.3	COMPONENTES DO RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE.....	47
4.4	ÍNDICE DE COLHEITA.....	57
4.5	SENSORIAMENTO REMOTO	59
5	CONCLUSÕES.....	69
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
	REFERÊNCIAS	72
	ANEXOS	79

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja é a que abrange a maior área agrícola cultivada no Brasil, ocupando cerca de 36,9 milhões de hectares com uma produção de 124,8 milhões de toneladas na safra 2019/2020 (CONAB, 2020). A soja produzida e consumida mundialmente apresenta grande importância como principal fonte de proteína vegetal. A cultura se destaca por ser matéria prima importante na produção de ração animal, produtos da culinária no consumo humano, industrial e óleo vegetal. A cadeia produtiva da soja engloba desde a produção do grão, exportação do produto bruto ou para indústria que é responsável pela produção de farelo ou extração do óleo (SILVA *et al.*, 2018).

Desde que a soja foi implantada no país, houve grande evolução nas práticas de manejo, produtos fitossanitários, maquinários, genética e conhecimento técnico. Tudo isso contribuiu para um grande avanço nos índices de produção da cultura, concomitantemente com o rendimento de grãos. Nos anos de 1970, a produtividade média brasileira era de 1.140 kg ha⁻¹ (BONATO; BONATO, 1987). Já na safra de 2019/20, a produtividade média foi de 3.379 kg ha⁻¹ (CONAB, 2020). Grande parte dessa evolução foi obtida em programas de melhoramento genético, que trouxeram novas cultivares melhor adaptadas agronomicamente para cada região de cultivo, com uma nova configuração de dossel, modificando morfológicamente e fisiologicamente o tipo de planta cultivada, aliada à ajustes de manejo.

As plantas são divididas morfológicamente em arquitetura de parte aérea e arquitetura de raiz. Em termos de parte aérea, o mesófilo foliar é o grande responsável pela interceptação da luz solar. Conseqüentemente, ele responde por 95% da produção total de fotoassimilados provindos da fotossíntese (TAIZ; ZAIGER, 2017). Nas últimas décadas muito se investiu em programas de melhoramento genético que trouxessem uma arquitetura eficiente e moderna para a parte aérea da planta, ajustando a configuração da parte vegetativa para uma melhor interceptação da radiação solar. Desenvolveram-se cultivares com menor estatura e menor índice de área foliar, porém com uma boa distribuição das folhas pelo dossel da planta. Estas alterações tornaram a arquitetura da planta mais moderna e com menos estruturas de luxo que poderiam competir por fotoassimilados com as estruturas de interesse econômico (TREZZI *et al.*, 2013). Segundo Fageria, Baligar e Clark (2006), a distribuição da área foliar dentro do dossel é o fator que mais determina o total de

radiação solar interceptada pela planta, afetando diretamente a fotossíntese, a transpiração e o acúmulo de massa seca.

Segundo Liu *et al.* (2012); Rowntree *et al.* (2014), aproximadamente metade do ganho em rendimento de grãos na cultura da soja é resultado do melhoramento genético. A outra metade se deve a melhorias nas práticas de manejo. Além do componente genético que determina o potencial produtivo da soja, fatores ambientais são determinantes para que a cultura expresse este potencial. Os efeitos desses fatores podem ser minimizados ou potencializados, dependendo do conjunto de práticas de manejo adotadas na condução da lavoura, que irão propiciar o melhor aproveitamento dos recursos pelas plantas (HEIFFIG *et al.*, 2006).

A soja apresenta uma característica agrônômica muito importante para sua adaptação a diversos ambientes e práticas de manejo: a alta plasticidade vegetativa e reprodutiva. Por meio de modificações morfológicas da planta, ela realiza compensações para atingir o seu máximo potencial produtivo (TOURINO *et al.*, 2002).

Os principais fatores ambientais que interferem no ciclo da soja não são controlados pelo agricultor, como altitude, latitude, textura do solo, incidência de radiação solar, precipitações, entre outros. Contudo, existem práticas de manejo que podem maximizar a utilização dos recursos ambientais, como a época de semeadura, a população de plantas e o espaço entrelinhas. É necessário um amplo conhecimento da interação entre esses fatores para que se possa tomar a melhor decisão quanto a práticas de manejo para alcançar o máximo potencial produtivo da cultura (PROCÓPIO *et al.*, 2013).

O arranjo de plantas tem grande influência sobre várias características da cultura, como o índice de área foliar (IAF), a altura de planta, o número de ramificações a partir da haste principal, o diâmetro do caule e o número de legumes por planta (BALBINOT JUNIOR *et al.*, 2015). Além de influenciar nas características morfológicas e fisiológicas da soja, o arranjo de plantas interfere nas condições ambientais dentro do dossel, criando ambientes e microclimas específicos que podem ser favoráveis ou desfavoráveis para infecção por patógenos e para germinação e estabelecimento de plantas daninhas (GARCIA; PROCÓPIO; BALBINOT JÚNIOR, 2017; SOARES *et al.*, 2017).

Determinar o arranjo populacional de plantas corretamente para cada região é um passo muito importante para alcançar melhores produtividades, reduzir custos e obter conhecimento técnico para definir estratégias de manejo. Atualmente, as

populações ideais sugeridas pelas detentoras das cultivares são baseadas em avaliações de ensaios pontuais, realizados em poucas regiões. Esses valores são extrapolados para toda a microrregião ou até mesmo para grandes regiões de abrangência. Esse tipo de recomendação pode não estar adequado, pois existe grande variação de ambiente dentro de uma microrregião, e até mesmo entre municípios circunvizinhos, que diferem em altitude, latitude, clima, solo e outros fatores ambientais que possuem forte influência fisiológica e morfológica sobre plantas de soja. Por isso, é importante realizar mais avaliações em outras microrregiões produtoras para que se possa obter conhecimento técnico e científico sobre o comportamento das cultivares submetidas a condições diferentes de cultivo.

Nos últimos anos houve uma tendência de reduzir a densidade de populacional na cultura da soja. Este comportamento está ligado a aspectos morfofisiológicos da espécie e a fatores econômicos dos custos de produção. A soja é uma cultura que possui alta plasticidade fenotípica. A planta tem grande capacidade de se ajustar ao ambiente ao qual ela está submetida, de baixa ou alta competição intraespecífica. Em baixas densidades populacionais ocorre o aumento no número de ramificações secundárias, aumentando o número de nós reprodutivos e do número de vagens e grãos por planta. Isto compensa a redução do número de indivíduos por área e não compromete o rendimento de grãos (PROCÓPIO *et al.*, 2013).

Concomitante a essas características da cultura da soja, outro fator importante que culminou na redução da densidade de plantas por parte dos técnicos de campo e agricultores foi a elevação dos custos de produção da cultura. Atualmente as sementes possuem alto valor agregado. O aumento de preço ocorreu porque a qualidade fisiológica da semente melhorou muito, devido a processos desde o campo de produção até o seu beneficiamento e distribuição. Além disso, os programas de melhoramento genético trouxeram cultivares com maior potencial produtivo e houve incremento de novas biotecnologias transgênicas, como a plataforma INTACTA RR2 PRO®, que confere a resistência ao herbicida glifosato, a algumas lagartas que atacam a cultura e com a promessa de aumento de produtividade. Uma boa estratégia para contornar o aumento no custo de produção na cultura da soja é reduzir a densidade de sementes aplicadas e, conseqüentemente, o número de plantas por área (BALBINOT JUNIOR *et al.*, 2015). Contudo, esta estratégia somente será viável se não comprometer a produtividade da cultura.

A região do Planalto Norte Catarinense possui características favoráveis para o cultivo da soja que podem favorecer a prática de reduzir a densidade de plantas recomendada pelas empresas detentoras. Segundo Mundstock; Thomas (2005) e Souza *et al.* (2013), a maioria das cultivares de soja podem modificar sua morfologia, apresentando crescimento excessivo em estatura, alongamento dos entrenós, acamamento e alongamento do ciclo vegetativo, quando cultivadas em regiões de maior altitude e temperaturas amenas do sul do Brasil. Outro fator importante é que os solos da região possuem características físicas favoráveis ao cultivo de plantas anuais. Aliado a isso, a maioria dos produtores da região são tecnificados e investem em fertilidade, sementes de qualidade e semeadoras de precisão que distribuem as sementes de forma uniforme. Essas características são importantes no momento de se optar em adotar um manejo populacional de plantas reduzido, em comparação com o indicado pela detentora.

Este trabalho foi concebido com base nas seguintes hipóteses: as populações recomendadas pelas empresas detentoras estão superestimadas em relação ao melhor desenvolvimento e produtividade das cultivares de soja; as cultivares de soja diferem na sua plasticidade vegetativa e na sua capacidade de compensar a redução de estande através da maior ramificação; a redução da densidade de plantas é uma estratégia de manejo que não compromete o rendimento de grãos e aumenta a rentabilidade da soja no Planalto Norte Catarinense.

O trabalho foi implantado com o objetivo geral de avaliar os efeitos de redução da densidade de plantas sobre o desempenho agrônômico de cultivares de soja expressivas no Planalto Norte de Santa Catarina.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A cadeia produtiva da soja é uma das atividades econômicas mais importantes do Brasil. Grande parte do avanço do setor sojícola está ligado ao desenvolvimento e estruturação de um robusto mercado internacional ligado ao comércio de derivados da agroindústria da soja. A soja é uma fonte de proteína de origem vegetal, servindo como principal produto para atender as demandas do mercado produtor de produtos de origem animal. Além disso, as indústrias de biodiesel têm buscado cada vez mais a soja como matéria prima. Isto propiciou um grande investimento no desenvolvimento de tecnologias para suprir as necessidades da cadeia produtiva da soja (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014).

O Brasil é o maior exportador mundial de soja em grãos, com 93,5 milhões de toneladas exportados na safra 19/2020, representando 56% da exportação mundial do produto. Os preços internacionais afetam diretamente a balança comercial brasileira e os preços deste complexo no mercado nacional. Dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) mostram que na divulgação do quadro de oferta e demanda mundial referente a safra 2019/20, o Brasil se consolida também como maior produtor mundial de grãos de soja. Foi estimado para a safra mundial de soja em grãos 2020/21 que Brasil (35,37%), EUA (32,51%) e Argentina (14,4%) são responsáveis por 82,28% de toda a produção mundial de soja em grão. Já a China responde por aproximadamente 61% de todas as importações mundiais (CONAB, 2020).

Santa Catarina produziu na safra 2019/2020 2,29 milhões de toneladas de soja, participando com 1,83% do total produzido no Brasil. O estado cultivou uma área de 680 mil hectares e alcançou produtividade média de 3.310 kg ha⁻¹ (CONAB, 2020). As regiões de Xanxerê, Canoinhas e Curitibanos, incluindo Campos Novos, constituem as maiores zonas produtoras, perfazendo 380 mil hectares, que representam mais de 57% da área cultivada do estado. A região norte, que é composta pelos municípios circunvizinhos de Canoinhas, foi responsável pela produção de 451 mil toneladas de soja, com uma produtividade média de 3.472 kg ha⁻¹, numa área de aproximadamente 130 mil hectares na safra 17/2018 (EPAGRI, 2019).

A soja é uma planta herbácea, pertence à família Fabaceae, subfamília Papilionoidea e a tribo Phaseoli. É uma planta anual, ereta, com caule de 80 a 150 cm de comprimento, apresentando folhas longo pecioladas, com três folíolos (GARCIA, 1999). O grande interesse comercial pelos grãos de soja está ligado à sua composição bromatológica, muito rica em proteína, com um teor médio de 35-55%, além de apresentar 17-27% de lipídeos, 30-35% de carboidratos e 5% de minerais, dependendo do genótipo e ambiente (ALIYEV; MIRZOYEV, 2010).

O fotoperíodo e a temperatura são fatores importantes para o desenvolvimento da cultura da soja (RODRIGUES *et al.*, 2001). Devido a sensibilidade da cultura ao fotoperíodo, a eficiência de cada cultivar varia conforme a localização da região em que está inserida, que é influenciada pela latitude. A altitude também influencia no ciclo, desenvolvimento e crescimento da cultura, por conta das variações de temperatura. Devido a estas características, cada cultivar terá condições próprias de adaptação, conforme o seu grupo de maturação (EMBRAPA, 2018).

2.2 ARRANJO DE PLANTAS

O arranjo de plantas é composto por duas variáveis: a densidade populacional e o espaçamento entre linhas. Elas modificam a área foliar e a arquitetura de planta na lavoura, gerando diferentes tipos de competição intraespecífica (RAMBO *et al.*, 2003). O arranjo espacial pode afetar de várias formas o cultivo da soja, interferindo na velocidade de fechamento das entre linhas, arquitetura das plantas, produção de fitomassa, severidade das doenças, acamamento, componentes do rendimento e a produtividade de grãos (BALBINOT JUNIOR *et al.*, 2015).

Diversos trabalhos demonstram que a soja é pouco responsiva a variações na densidades de planta (PROCÓPIO *et al.*, 2013; DE LUCA E HUNGRIA, 2014; BALBINOT JUNIOR *et al.*, 2015). Isso pode ser explicado pela alta plasticidade fenotípica da cultura, que confere a planta capacidade de se adequar a uma ampla faixa de densidades através de compensações morfológicas e dos componentes do rendimento (CESA, 1994). Em densidades abaixo de 200.000 plantas ha⁻¹, as plantas de soja emitem maior quantidade de ramos reprodutivos, aumentam o número de vagens por planta, grãos por planta e formam hastes mais robustas e plantas menores. Estas alterações fazem com que a soja compense a redução de plantas por

área com uma alta produção por planta, não interferindo na produtividade (TOURINO *et al.*, 2002; FERREIRA *et al.*, 2018).

Alguns resultados reportados por Balbinot Junior *et al.* (2018) mostraram que o componente de rendimento mais afetado pela variação de densidade populacional foi o número de vagens por planta. O aumento da densidade de 135 para 440 mil plantas ha^{-1} provocou redução de 70% no número de vagens por planta. Isso é mais acentuado quando se separam as vagens oriundas dos ramos das vagens oriundas da haste principal. O número de vagens produzido nos ramos reduziu de 50 para 3, nas densidades 135 e 440 mil plantas ha^{-1} , respectivamente. Portanto, houve uma compensação nas estruturas reprodutivas para as baixas densidades de plantas. Esses resultados foram confirmados por Peixoto *et al.* (2000); Kuss *et al.* (2008) e Ferreira *et al.* (2018) que também relataram a mesma tendência.

Em regiões de clima temperado, especialmente naquelas com altitude superior à 700 metros no Sul do Brasil, a soja apresenta período vegetativo mais longo que nas regiões mais quentes de mesma latitude. Isso ocorre porque quanto maior a altitude, a tendência é de que a temperatura média seja menor, principalmente a noite. Como o ciclo e o crescimento vegetativo da soja são fortemente influenciados pela temperatura, impactando na indução floral, quanto menor a temperatura média, mais longo será o ciclo vegetativo e maior será a estatura das plantas. Isso pode aumentar a propensão ao acamamento. Por essa razão, o interesse em utilizar populações mais baixas é maior nas regiões de altitude no sul do Brasil (GARCIA *et al.*, 2007; ARANTES *et al.*, 2010).

Segundo Peixoto *et al.* (2000), nenhuma prática isolada é mais importante que época de semeadura para a cultura da soja. Essa prática é definida por um conjunto de fatores ambientais intrínsecos de cada região que afetam e interagem com a cultura, modificando o potencial produtivo e as características morfofisiológicas da planta. Para as condições brasileiras, a época de semeadura varia em função das cultivares e seus respectivos grupos de maturação relativa, região de cultivo e das condições mínimas de temperatura do solo, temperatura do ar e regime hídrico do ano agrícola. Para a região sul, a época de semeadura da cultura da soja é contemplada entre os meses de outubro até dezembro, sendo novembro a época que a maioria das cultivares expressam seu maior potencial de rendimento. Quando escolhida a época de semeadura, define-se também a densidade de plantas. Estas duas práticas estão

intimamente ligadas para obtenção de altas produtividades na cultura (PELUZIO *et al.*, 2008).

Segundo Strieder *et al.* (2016) nas últimas safras houve uma tendência por parte dos produtores em antecipar a época de semeadura da soja para o mês de outubro. Isso foi motivado por fatores como cultivares com grupo de maturação relativa entre 5.0 e 5.6, as quais se adaptam melhor a épocas antecipadas, o escape de condições climáticas de estiagem nos meses de janeiro a fevereiro, escape de patógenos como *Phakopsora pachyrhizi* e a tentativa de realizar uma segunda safra com a cultura do feijão. Com essa tendência, o ajuste de densidade populacional se torna necessário e pode ser uma estratégia importante na redução de custos da lavoura. Quando antecipada a semeadura, recomenda-se que ocorra uma redução na densidade de plantas. Isso porque em semeaduras antecipadas a soja aumenta duração do período vegetativo, em relação ao reprodutivo, aumentando a sua estatura, podendo gerar plantas propensas ao acamamento (MUNDSTOCK ; THOMAS 2005). Menores densidades de plantas em relação ao recomendado pelas detentoras pode ser uma estratégia importante para adequar as plantas à época de semeadura, propiciar condições para manutenção de potencial produtivo da cultivar e ainda reduzir os custos de implantação da lavoura (BALBINOT JUNIOR *et al.*, 2015).

A fertilidade do solo também tem importante relação com a população de plantas na cultura da soja. Carciochi *et al.* (2019), relata que em áreas de cultivo consolidado com o sistema de semeadura direta na palha, como é o caso da região do Planalto Norte Catarinense, os atributos de qualidade química do solo já estão em níveis de fertilidade média a alta. Esta situação gera plantas bem nutridas e muitas vezes bastante vigorosas, com aumento de estatura e mais estruturas vegetativas (FOLONI, 2017). Com isso, a redução na densidade de plantas pode ser uma boa estratégia para controlar o porte das plantas, reduzindo competição intraespecífica e a propensão ao acamamento. Segundo Carciochi *et al.* (2019) em ambientes de manejo que propiciam média e alta produtividade, é possível reduzir a densidade populacional sem que ocorra redução no rendimento de grãos. Além disso, a utilização de densidades mais baixas diminui o risco de acamamento e a incidência de doenças que acometem a cultura (GARCIA *et al.*, 2007).

Para Krzyzanowski *et al.* (2018) o estabelecimento de lavouras com densidades populacionais menores requer sementes de alta qualidade fisiológica e sanitária, para que cada individuo depositado no solo seja de alto desempenho e gere plantas sadias

e com potencial desenvolvimento. Além disso, as sementes devem ser classificadas por tamanho para que se tenha uma boa plantabilidade, fazendo com que a distribuição seja homogênea entre as sementes e gere plantas bem distribuídas e equidistantes.

A distribuição das sementes na linha de semeadura é a prática de maior impacto no manejo de densidade de plantas, onde a melhor distribuição, é aquela em que as plantas ficam equidistantes uma da outra, em condições que propiciam o menor grau de competição intraespecífica e conseqüentemente o melhor aproveitamento de recursos da área, não havendo falhas (HEIFFIG *et al.*, 2006). Com a evolução tecnológica do campo, grandes marcas de máquinas e implementos investiram no desenvolvimento de semeadoras para atender a demanda do mercado sojícola. As semeadoras atuais são equipadas com eficientes sistemas para agricultura de precisão, onde é possível obter o controle de taxa de sementes, profundidade de deposição e a distribuição uniforme na linha de semeadura (BERTELLI *et al.*, 2016). Os sistemas mais modernos de distribuição de sementes contam com dosadores a vácuo, onde a semente é individualizada e projetada para ser expelida pela semeadora de forma sincronizada, não havendo ocorrência de duplicidade de sementes e com o menor atrito possível, não prejudicando a semente e fazendo com que a distribuição seja uniforme espacialmente e na profundidade na linha de semeadura (JOHN DEERE, 2020).

O ajuste do arranjo populacional é uma medida muito importante para obter bons resultados de produtividade, aliado a redução de custos da lavoura para o produtor. Esta tendência se acentuou nos últimos anos, pois o custo da semente teve expressivo aumento, devido as novas tecnologias transgênicas agregadas e pela qualidade genética e fisiológica das mesmas. Segundo Goffi *et al.* (2017), a utilização de materiais transgênicos com a biotecnologia RR2 INTACTA® pode incrementar até 3,4 vezes o custo da semente, em relação a materiais que são transgênicos da primeira geração de biotecnologia RR®. A partir da safra 2021/22, a tendência no aumento do custo da semente é ainda maior, pois as empresas Bayer S.A. e Corteva AgroSciences estarão lançando comercialmente as plataformas de biotecnologia INTACTA 2 XTEND® e ENLIST®, respectivamente. São novos eventos transgênicos incorporados a semente, pelos quais o produtor pagará royalties para o uso da tecnologia. Há uma projeção de que os genótipos com a biotecnologia INTACTA 2

XTEND® cheguem ao mercado custando em média R\$17,50 por kg⁻¹ semente. Esta é uma diferença significativa do preço pago atualmente pelo kg de sementes das cultivares RR2 INTACTA®, que é de R\$11,70 (COOPERALFA, 2021). Atualmente o custo da semente representa 13% dos custos variáveis de produção e 10% em relação aos custos totais (RICHETTI, 2019). Desta forma, o produtor precisa cada vez mais utilizar este insumo de forma racional (GARCIA *et al.*, 2007; BALBINOT JUNIOR *et al.*, 2015; GASO, 2018; CARCIOCHI *et al.*, 2019).

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto consiste em obter registros de dados através da exploração das regiões do ultravioleta, visível, infravermelho e micro-ondas do espectro eletromagnético, sem necessidade de haver o contato dos sensores com o dossel das plantas avaliadas, utilizando câmeras e escâneres embarcados em aeronaves e satélites, com posterior análise dos dados obtidos, tanto visualmente como por algoritmos (JENSEN, 2007).

As dimensões e a dinâmica que o agronegócio brasileiro tomou nos últimos anos, espalhando-se por todo o território brasileiro, reforçaram a importância para que o país pesquise, desenvolva e invista no que há de melhor em tecnologias para estudos e monitoramento da agricultura. Neste sentido, o uso de satélites, VANT's (veículos aéreos não tripulados) e softwares robustos para o processamento de dados precisa ser explorado e difundido, tanto para o monitoramento de grandes áreas, quanto para avaliações mais robustas e menos onerosas da pesquisa (FORMAGGIO; SANCHES, 2017).

Segundo Formaggio; Sanches (2017), através do comportamento fenológico das culturas é possível obter informações importantes via sensoriamento remoto, como porcentagem de cobertura do solo pelo dossel, quantidade de biomassa, estimativa de produtividade, índice de área foliar, altura de planta, densidade populacional, períodos de maior e menor vigor vegetativo e aproximação da época de colheita. Ao mesmo tempo em que há variações fenológicas na planta, as respostas espectrais acompanham essas variações, gerando dados importantes sobre a situação da lavoura.

Muitos trabalhos feitos em diversas regiões do mundo têm utilizado o sensoriamento remoto como uma alternativa para avaliar os experimentos de forma mais rápida e precisa, analisando o teor de clorofila das plantas de soja no estágio reprodutivo (HOU *et al.*, 2019); a fenologia na cultura do milho e soja nos EUA (SEO *et al.*, 2019); e a fenotipagem de soja para respostas ao estresse hídrico no melhoramento genético (CARVALHO *et al.*, 2015). Portanto, o objetivo de integrar essa ferramenta ao trabalho é para tornar as avaliações menos dispendiosas e para obter dados robustos de uma forma moderna.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

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

3.2 TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com os tratamentos dispostos no arranjo de parcelas sub-divididas. 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 sub-parcelas foram avaliadas quatro densidades: 120.000, 160.000, 200.000 plantas ha⁻¹ e a testemunha, cuja população que 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. As densidades foram distribuídas aleatoriamente dentro de cada cultivar. As cultivares foram distribuídas aleatoriamente nas parcelas.

Tabela 1 — Cultivares de soja com suas densidades testadas e as testemunhas de acordo com a população ótima determinada pela detentora para a época e região de semeadura.

Cultivar	GMR	Densidades testadas (pl ha ⁻¹)			Testemunha (pl ha ⁻¹) ⁽¹⁾
AS3590 IPRO	5.9	120.000	160.000	200.000	300.000
BMX Ativa RR	5.7	120.000	160.000	200.000	340.000
BMX Zeus IPRO	5.5	120.000	160.000	200.000	300.000
M5838 IPRO	5.8	120.000	160.000	200.000	240.000
NS5445 IPRO	5.4	120.000	160.000	200.000	300.000

(1) Dados obtidos nas páginas oficiais das detentoras das cultivares.
GMR: Grupo de maturação relativa.
Elaborada pelo autor, 2021.

3.3 TRATOS CULTURAIS

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⁻¹) + Tiofanato Metílico (225 g L⁻¹) + Fipronil (250 g L⁻¹) na dose do produto comercial de 200 ml por 100 kg de semente. As sementes também foram inoculadas com *Bradyrhizobium* spp. + *Azospirillum brasilense* na dose de 4:1 dos produtos comerciais.

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 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® (Metoxifenoazida), 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.

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 (Cloratalonil), 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.

3.4 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

A partir do estágio V4 segundo Ritchie *et al.* (1977), iniciou-se a captura de imagens aéreas utilizando um VANT (veículo aéreo não tripulado). As imagens foram obtidas semanalmente durante o restante do ciclo da cultura, totalizando 13 coberturas fotográficas. Os voos foram programados e executados através do programa DroneDeploy® que comanda o VANT mantendo o padrão de altura de voo, momento de captura de imagens, sobreposição das imagens, velocidade do voo e área a ser coberta pelo voo. As imagens foram primeiramente processadas no software Agisoft Metashape® e em seguida no software QGIS® para obtenção dos índices agronômicos. Através do sensoriamento remoto foi possível mensurar a cobertura do solo com o decorrer do ciclo da cultura.

A área foliar mensurada manualmente foi determinada no estágio fenológico R5 (início do enchimento de grãos) para obter o máximo de expansão foliar por planta. Mediu-se o comprimento e a maior largura do folíolo central de cada trifólio de três plantas por parcela. Na sequência aplicou-se a equação de Richter *et al.* (2014) definida pela fórmula $AF = a \times (C \times L)$, onde: AF é a área da folha (cm²), C é o comprimento da folha (cm), L é a maior largura da folha (cm) e a é o coeficiente angular para a cultura da soja com valor de 2,0185. O índice de área foliar (IAF) foi determinado pelo valor médio de área foliar das três plantas mensuradas dividido pelo espaço ocupado pela planta em cada densidade.

A determinação da altura do dossel mensurada manualmente foi feita no estágio R5 (início do enchimento de grãos), utilizando uma régua métrica e tomando cinco pontos de observação por parcela. Mediu-se a distância do nível do solo até o ponto máximo do dossel da planta.

A colheita foi realizada manualmente a partir de 19 de março de 2020, conforme as cultivares foram atingindo ponto de colheita, estágio R8 da escala proposta por Ritchie *et al.* (1977). 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 morfológicas e de componentes do rendimento. As avaliações realizadas foram:

- Estatura de plantas, medindo-se a distância do nó cotiledonar até a extremidade da haste principal;
- Diâmetro da haste principal, através de duas medições utilizando paquímetro na parte média entre o nó cotiledonar e colo da planta;
- Número de nós na haste principal;
- Número de ramos produtivos; considerando-se produtivo o ramo que apresentava pelo menos uma vagem com grão;
- Altura da inserção da primeira vagem, medindo-se a distância do nó cotiledonar até a inserção do primeiro legume;
- 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;

As hastes, vagens e grãos foram acondicionados em estufas com 60°C por três dias. Após a secagem do material, realizou-se as seguintes avaliações:

- Peso das hastes mais as vagens e peso dos grãos, para determinar o índice de colheita. O índice de colheita foi calculado dividindo-se a massa de grãos pela massa total da parte aérea.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

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 software estatístico Sisvar. Quando a interação entre cultivar e densidade de plantas foi significativa, as médias foram comparadas por

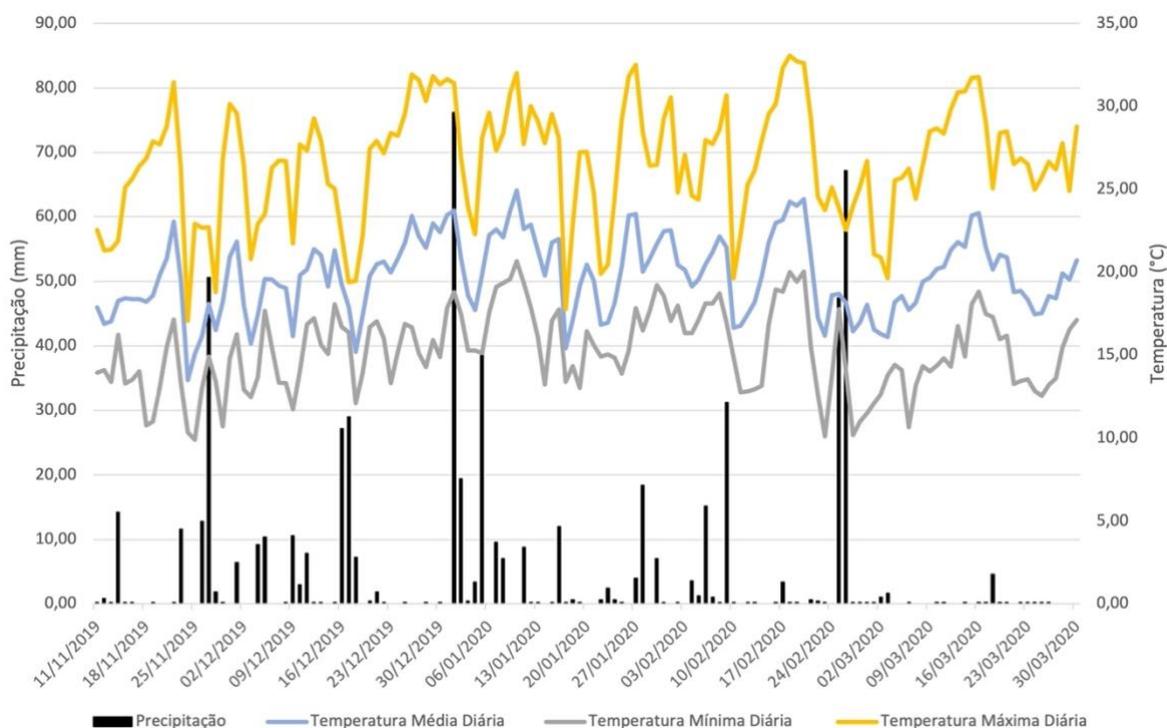
análise de regressão. Ambas as comparações foram feitas ao nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO PERÍODO EXPERIMENTAL

A precipitação e as variações de temperatura mínima, média e máxima do ar durante o ciclo da cultura estão representadas na Figura 1. Estes dados são referentes ao período de 11/11/2019 até 30/03/2020 e foram coletados pela estação meteorológica da EPAGRI na localidade de Santo Antônio, no município de Itaiópolis, próximo a área do experimento. A precipitação acumulada durante o ciclo foi de 601 mm. Segundo Fendrich (2003), o ciclo completo da cultura da soja possui necessidade hídrica que varia de 450 a 800 mm, sendo menor a exigência hídrica no início do ciclo com o período vegetativo e passa a aumentar, chegando ao máximo da demanda nos estádios R2 (floração) à R5 (enchimento de grãos) da cultura da soja.

Figura 1 — Precipitação (mm), temperatura mínima, média e máxima diária no período de 11/11/2019 a 30/03/2020. Estação meteorológica da EPAGRI em Santo Antônio, município de Itaiópolis - SC.



Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da EPAGRI/CIRAM, 2021

O período de 10/02/2020 até 28/02/2020 coincidiu com o enchimento de grãos e foi o período em que as precipitações foram menores, anterior a esse período houve

precipitações pontuais e de baixa magnitude, o que pode influenciar na disponibilidade hídrica para a cultura e comprometer essa fase importante para definição do rendimento de grãos.

A temperatura média mensal do ar teve o valor máximo em janeiro com 21 °C e o valor mínimo em novembro 18 °C, característico do clima da região do Planalto Norte Catarinense.

4.2 ANÁLISES MORFOLÓGICAS

A estatura de planta foi afetada pelos efeitos principais de cultivar e densidade (Anexo 1). O maior valor desta variável foi registrado na densidade recomendada pelas detentoras e a menor estatura na menor densidade de plantas (Tabela 2). A menor estatura de planta foi obtida pela cultivar BMX Ativa RR e a maior estatura pela cultivar AS3590 IPRO. Isso pode estar ligado ao grupo de maturação das cultivares e ao hábito de crescimento. A primeira é de hábito determinado e grupo de maturação menor. Já a segunda é de hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação maior, tendendo a vegetar mais quando cultivada na mesma época de semeadura. O grupo de maturação está intimamente ligado a resposta ao fotoperíodo de cada cultivar, podendo aumentar ou diminuir variáveis como: ciclo, período vegetativo e reprodutivo, crescimento e outros que estejam ligados ao fotoperíodo.

A maior estatura registrada na densidade mais alta pode ser explicada pelo aumento da competição intraespecífica que ocorre quando há mais plantas por área. O aumento da densidade de plantas afeta a quantidade e a qualidade de radiação que incide no mesófilo foliar, tendo um acréscimo na proporção de radiação difusa, em relação a radiação global, o que provoca a alongação da haste da planta (PRICINOTTO ; ZUCARELI, 2014). Altas densidades podem desenvolver plantas altas e frágeis, aumentando o risco de acamamento de plantas. Este comportamento também foi observado por Balbinot Junior *et al.* (2015) ; Souza *et al.* (2016), onde altas densidades populacionais originaram indivíduos com maior estrutura e menores densidades geraram plantas menores.

Tabela 2 — Altura de planta (cm) da soja em função da cultivar e densidade de plantas. Papanduva, SC, 2019/2020.

Cultivar	Densidade de plantas (x1000 ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	120	160	200	Testemunha		
AS3590 IPRO	119	122	124	130	124 a	3,3
BMX Ativa RR	84	87	88	93	88 d	
BMX Zeus IPRO	98	99	101	106	101 c	
M5838 IPRO	103	109	111	113	109 b	
NS5445 IPRO	95	101	105	111	103 c	
Média	100 C	104 B	106 B	111 A		
CV (%)	3,0					

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.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

O número de nós na haste principal também foi afetado pelos efeitos principais de cultivar e da densidade de plantas (Anexo 1). Resultados semelhantes foram apontados por Martins *et al.* (1999). Desta forma a cultivar AS3590 IPRO foi a que apresentou mais nós e a BMX Ativa RR a que apresentou menor número de nós.

Nas densidades 120.000 e 160.000 plantas há⁻¹, as plantas apresentaram 1,2 e 1,1 nós, respectivamente, a mais que a densidade recomendada pelas detentoras das cultivares. Isto mostra que a redução de população pode incrementar pelo menos um nó reprodutivo a mais. Esta é uma característica positiva, pois cada nó pode gerar um racemo com várias vagens.

Tabela 3 — Número de nós da haste principal da soja em função das cinco cultivares e densidade de plantas. Papanduva, SC, 2019/2020.

Cultivar	Densidade de plantas (x1000 ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	120	160	200	Testemunha		
AS3590 IPRO	21,5	22,1	21,6	21,3	21,6 a	5,0
BMX Ativa RR	18,2	17,9	17,1	16,6	17,4 b	
BMX Zeus IPRO	19,1	18,3	17,6	16,2	17,7 b	
M5838 IPRO	21,4	22,1	21,4	20,7	21,4 a	
NS5445 IPRO	18,3	17,5	17,5	17,0	17,5 b	
Média	19,6 A	19,5 A	19,0 AB	18,4 B		
CV (%)	4,5					

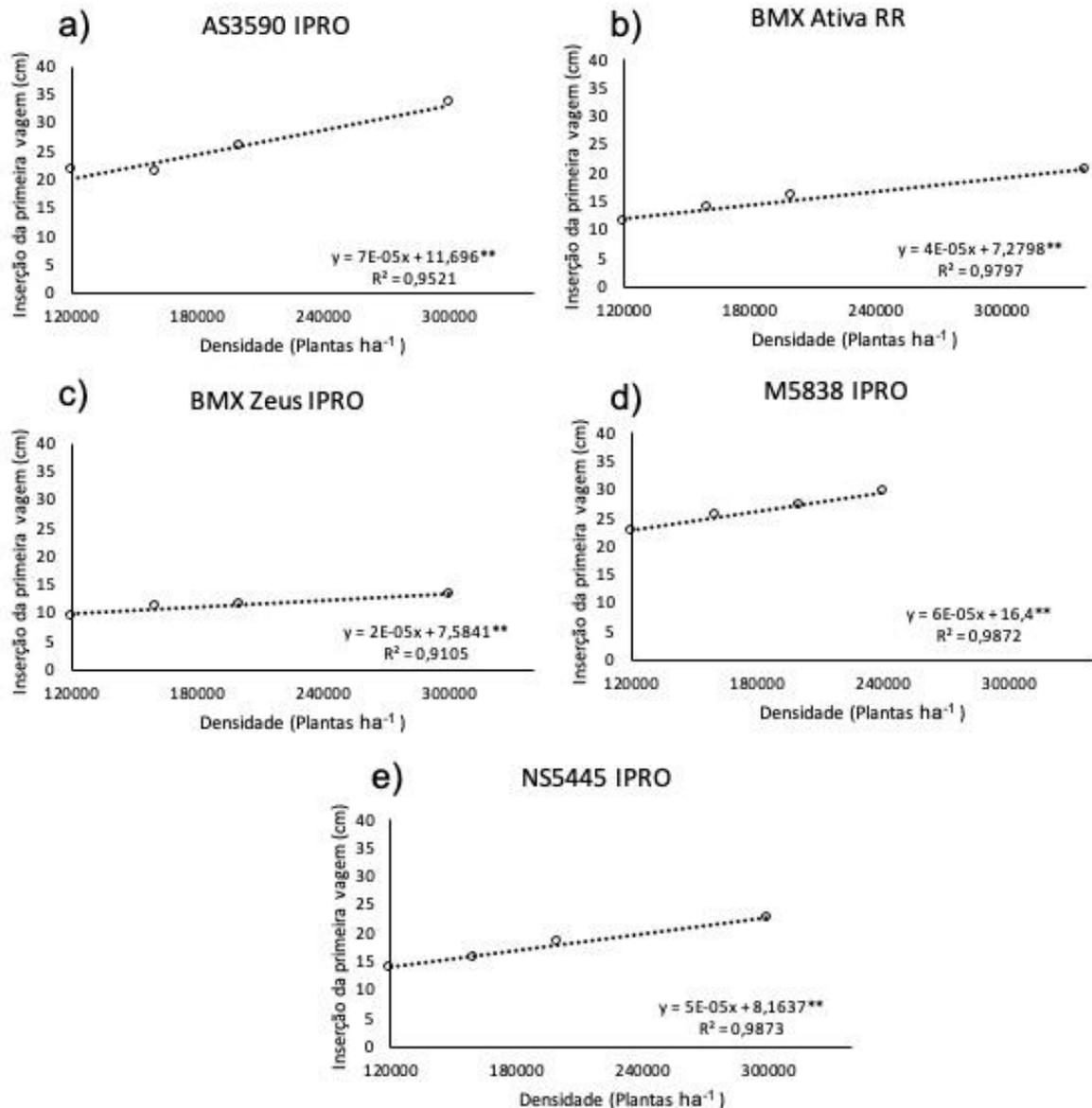
Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Para a altura de inserção da primeira vagem houve interação significativa entre cultivar e densidade de plantas (Anexo 1). Todas as cultivares apresentaram um acréscimo linear na altura de inserção da primeira vagem conforme o aumento da densidade de plantas (Figura 1).

Figura 2 — Inserção da primeira vagem (cm) em função da densidade de plantas de soja. a) cultivar AS3590 IPRO, b) cultivar BMX Ativa RR, c) cultivar BMX Zeus IPRO, d) M5838 IPRO e d) NS5445 IPRO. Papanduva, SC, 2019/2020.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

A cultivar AS 3590 IPRO apresentou incremento mais acentuado na altura de inserção da primeira vagem conforme o aumento da população de plantas. Ela também denotou a maior altura de inserção. A cultivar M5838 IPRO apresentou comportamento muito semelhante. Já a cultivar BMX Zeus IPRO foi a que apresentou menor altura de inserção da primeira vagem e seu acréscimo foi menor, quando comparado às outras cultivares nas maiores densidades de plantas. Essa diferença entre as cultivares pode estar ligada à sua característica genética e ao grupo de

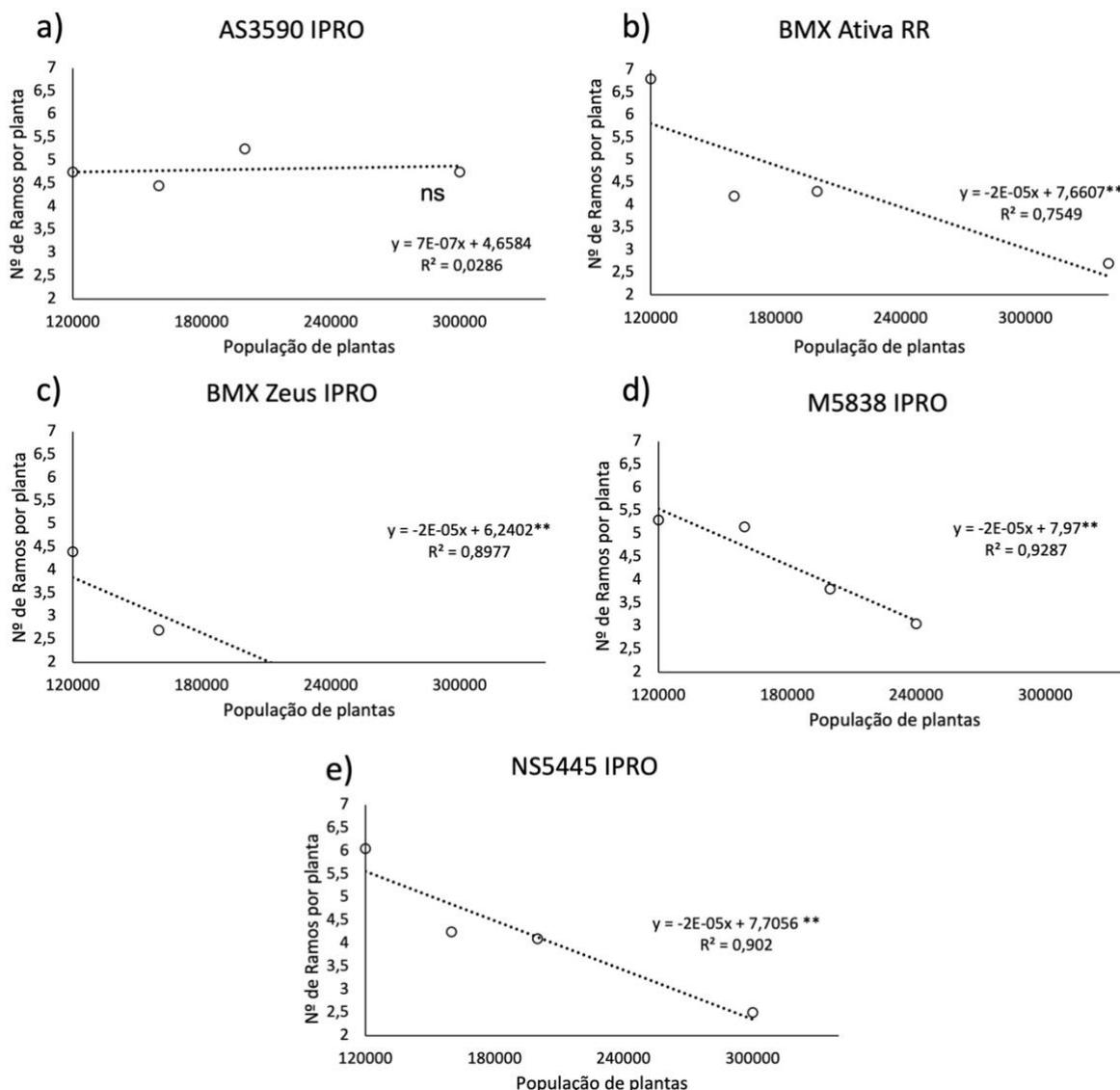
maturação. As cultivares com grupo de maturação mais baixo, como BMX Ativa RR, BMX Zeus IPRO e NS 5445 IPRO, apresentaram menor altura de inserção da primeira vagem, o que pode estar relacionado com a duração do ciclo e período vegetativo/reprodutivo.

É importante ressaltar que a altura mínima de inserção da primeira vagem deve ser de 10 cm, para que barra de corte das colhedoras automatizadas possa recolher essas vagens sem perdas (SEDIYAMA *et al.*, 1999). No presente estudo, em todos os tratamentos foram observados valores iguais ou superiores a 10 cm para esta variável. Portanto, a redução da densidade de plantas não comprometeu o recolhimento das vagens. Por outro lado, inserções da primeira vagem muito distantes do solo não são interessantes, pois a planta possuirá muitos nós sem vagem e, conseqüentemente, sem grãos, consistindo em uma parte improdutivo da planta.

O número de ramos por planta teve interação significativa entre cultivar e densidade de plantas (Anexo 2). A cultivar AS3590 IPRO foi a única que não alterou significativamente o número de ramificações produzidas em função da densidade (Figura 2). Isto pode estar ligado ao seu perfil genético de naturalmente emitir ramos independente da densidade populacional, sendo considerada uma cultivar com alto potencial de ramificação. Nas demais cultivares, o número de ramos por planta decresceu linearmente com o incremento na densidade de 120.000 plantas ha⁻¹ para a população recomendada pelas detentoras.

Essa variável pode ser considerada como a principal característica morfológica vegetativa de compensação e a que melhor explica a plasticidade fenotípica da soja. Quanto menor o número de plantas por área, maior é a tendência de aumentar o número de ramos por planta, compensando a menor densidade. Com o aumento dos ramos, a planta também aumenta o número de nós reprodutivos que darão origem a vagens, incrementando o número de vagens e o número de grãos por planta. Esses resultados corroboram com os dados obtidos por Procópio *et al.* (2013); Suhre *et al.* (2014) e Balbinot Junior *et al.* (2015).

Figura 3 — Número de ramos por planta em função da densidade de plantas de soja. 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.



ns: diferença não significativa entre as médias
 ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)
 Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

O diâmetro da haste principal foi afetado pelos efeitos principais de cultivar e densidade de plantas (Anexo 2). Com o aumento da densidade de plantas houve redução significativa do diâmetro da haste principal na região do colo da planta (Tabela 4). Isso ocorre porque quando há incremento de densidade as plantas tendem a aumentar sua estatura, produzindo internódios mais longos, porém menos espessos. Além disto, com o incremento da densidade os recursos para formação das

estruturas por planta são reduzidos, em comparação com menores populações. Isto faz com que existam menos reservas para acumular na haste principal, conforme também observado por Marchiori *et al.* (1999); Souza *et al.* (2010) e Balbinot Júnior *et al.* (2015).

O aumento no diâmetro da haste da planta com a redução de população pode ajudar a reduzir o acamamento, como demonstrou Board (2001), testando altas e baixas densidades de plantas e a sua interferência no acamamento. Desta forma, baixas densidades de plantas proporcionam redução de estatura e o espessamento das hastes, fazendo com que as plantas fiquem menos propensas ao acamamento. Apesar do avanço do melhoramento genético para a maior tolerância ao acamamento, ainda há fatores que podem ocasionar este fenômeno. Entre estes podem ser citados áreas com alta fertilidade, sementeiras feitas no início do período recomendando (segunda quinzena de outubro), grupo de maturação não adequado à região, períodos longos de nebulosidade, baixas temperaturas noturnas e principalmente populações inadequadas (BALBINOT JUNIOR, 2012).

Tabela 4 — Diâmetro da haste (mm) da soja em função da cultivar e densidade de plantas. Papanduva, SC, 2019/2020.

Cultivar	Densidade de plantas (x1000 ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	120	160	200	Testemunha		
AS3590 IPRO	10,1	9,9	9,9	8,7	9,6 ab	6,9
BMX Ativa RR	11,4	10,4	9,3	7,5	9,6 ab	
BMX Zeus IPRO	10,8	9,3	8,4	7,5	9,0 b	
M5838 IPRO	9,9	9,4	8,6	7,9	8,9 b	
NS5445 IPRO	11,1	10,8	9,8	8,7	9,9 a	
Média	10,6 A	9,8 B	9,2 C	8,1 D		
CV (%)	8,1					

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.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

As cultivares BMX Ativa RR e AS3590 IPRO apresentaram parcelas com acamamento onde foi utilizada a população recomendada pela detentora. Contudo, a percentagem de plantas acamadas não foi mensurada. É necessário realizar outros ensaios com o intuito de avaliar essa variável e relacionar com os fatores produtivos da cultura e cultivar.

A cultivar NS5445 IPRO se destacou quanto ao diâmetro da haste principal, apresentando valores desta variável significativamente maiores do que os apresentados pelas cultivares BMX Zeus IPRO e M5838 IPRO.

O índice de área foliar (IAF) não apresentou diferenças significativas entre cultivares e nem tão pouco entre as densidades de plantas (Anexo2, Tabela 5). Isso confirmou a alta plasticidade fenotípica das cultivares de soja avaliadas no trabalho e a capacidade de um único indivíduo compensar a ausência de outros na área. Com estes mecanismos de compensação, é possível que não ocorram prejuízos ao desempenho agrônômico da cultura, mesmo que sua população seja reduzida a metade do valor recomendado pelas empresas detentoras. O valor médio de IAF entre as cultivares foi de 5,44 e entre as densidades foi de 5,49. Em trabalho realizado por Tagliapietra *et al.* (2018), o IAF ótimo no enchimento de grãos para cultivares de hábito indeterminado variou de 6,0 até 6,5. Contudo, os autores avaliaram outras cultivares numa região diferente de cultivo. Estas diferenças podem influenciar no IAF ótimo, conforme constatado por Balbinot Junior *et al.* (2018), que encontraram diferenças entre safras, afirmando que o ambiente tem forte influência no IAF ótimo.

É importante destacar que as cultivares modernas de soja apresentam IAF menores e potenciais produtivos cada vez maiores, comparados com as cultivares mais antigas (FAGERIA; BALIGAR; CLARK, 2006). Isso demonstra que o melhoramento genético está avançando para materiais cada vez mais eficientes na interceptação e na conversão da energia luminosa em fotoassimilados alocados aos grãos. Os dados de IAF obtidos no experimento mostram que as cultivares modernas avaliadas, mesmo com a nova configuração de dossel, mantiveram a alta plasticidade que a cultura da soja possui, adaptando-se aos diferentes arranjos de plantas sem comprometimento do índice de área foliar.

Tabela 5 — Índice de área foliar da soja em função da cultivar e densidade de plantas. Papanduva, SC, 2019/2020.

Cultivar	Densidade de plantas (x1000 ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	120	160	200	Testemunha		
AS3590 IPRO	5,1	6,5	5,2	5,7	5,6	20,7
BMX Ativa RR	4,9	5,4	5,1	6,3	5,5	
BMX Zeus IPRO	5,1	4,6	5,6	5,0	5,1	
M5838 IPRO	5,6	4,9	6,2	5,8	5,6	
NS5445 IPRO	5,7	5,0	5,1	5,9	5,4	
Média	5,5	5,3	5,5	5,8	NS	
CV (%)	19,3					

NS: Diferenças entre médias não significativas na linha e na coluna.

CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

4.3 COMPONENTES DO RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE

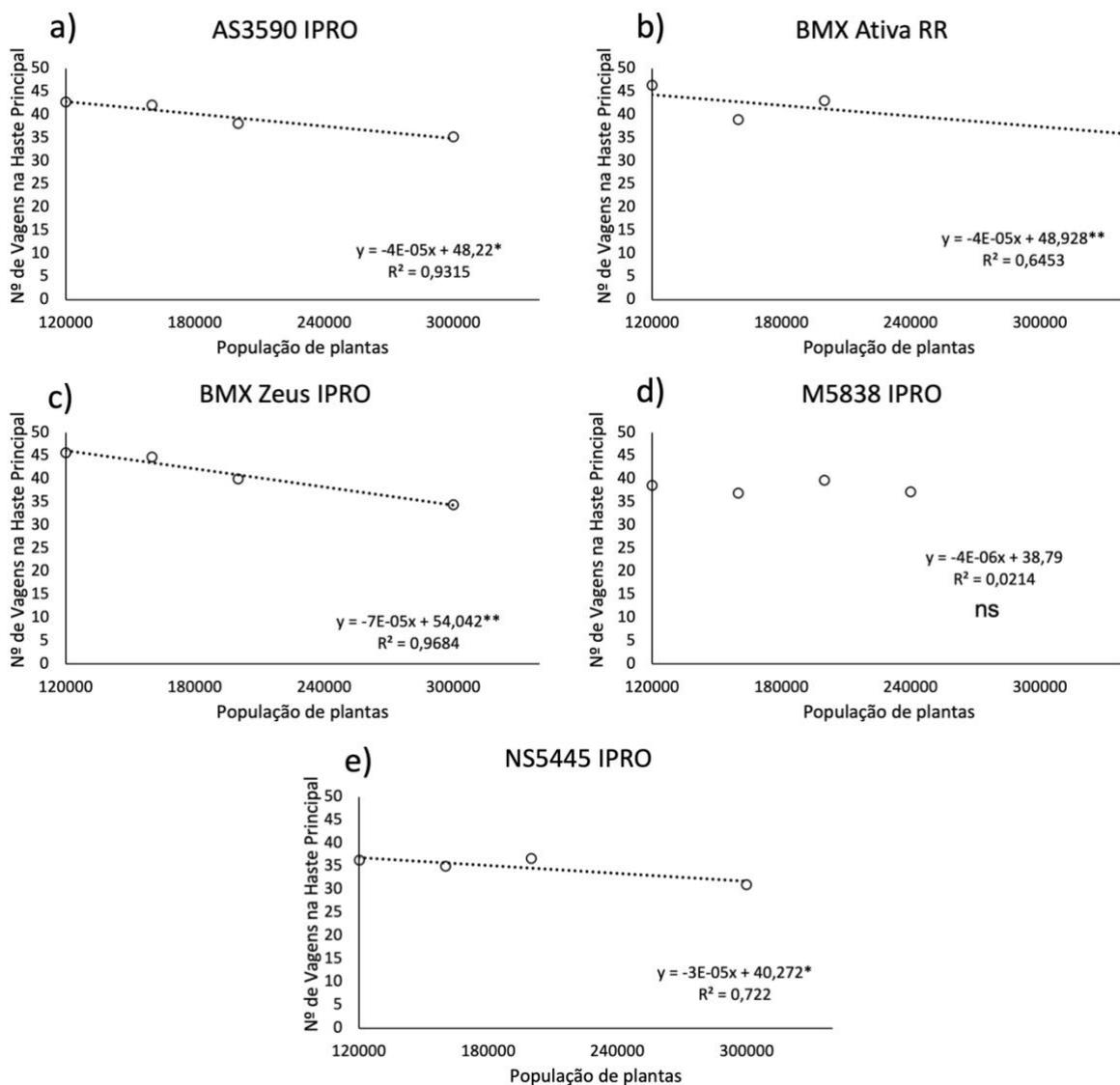
Os valores de F para as variáveis número de vagens nos ramos e de vagens por planta foram significativos para os efeitos principais dos fatores cultivar e densidade de plantas, não havendo interação entre eles (Anexo 3). O número de grãos por vagem foi afetado apenas pelo efeito principal de cultivar. Já o número de vagens na haste principal e a massa de mil grãos foram influenciados pela interação entre cultivar e densidade de plantas (Anexo 4). As variáveis rendimento de grãos e vagens m⁻² não diferiram significativamente entre os tratamentos pelo teste de F.

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 morfologia 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 frutos produzidos 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 3). 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.

Figura 4 — Número de vagens na haste principal em função da densidade de plantas de soja. a) cultivar AS3590 IPRO, b) cultivar BMX Ativa RR, c) cultivar BMX Zeus IPRO, d) M5838 IPRO e d) NS5445 IPRO. Papanduva, SC, 2019/2020.



ns: diferença não significativa entre as médias
 ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$)
 Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

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 6). A densidade de 120.000 plantas ha⁻¹ apresentou 61 vagens oriundas dos ramos, na média das cinco cultivares, enquanto que nas parcelas com as densidades recomendadas pelas detentoras foram produzidas 12 vagens. 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 Rambo *et al.* (2003).

Tabela 6 — Número de vagens nos ramos das plantas de soja em função da cultivar e densidade de plantas. Papanduva, SC, 2019/2020.

Cultivar	Densidade de plantas (x1000 ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	120	160	200	Testemunha		
AS3590 IPRO	60	43	34	13	37 ab	27,7
BMX Ativa RR	65	45	24	12	37 ab	
BMX Zeus IPRO	58	22	10	2	23 c	
M5838 IPRO	68	50	33	18	42 a	
NS5445 IPRO	57	32	25	11	31 bc	
Média	62 A	38 B	25 C	12 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.

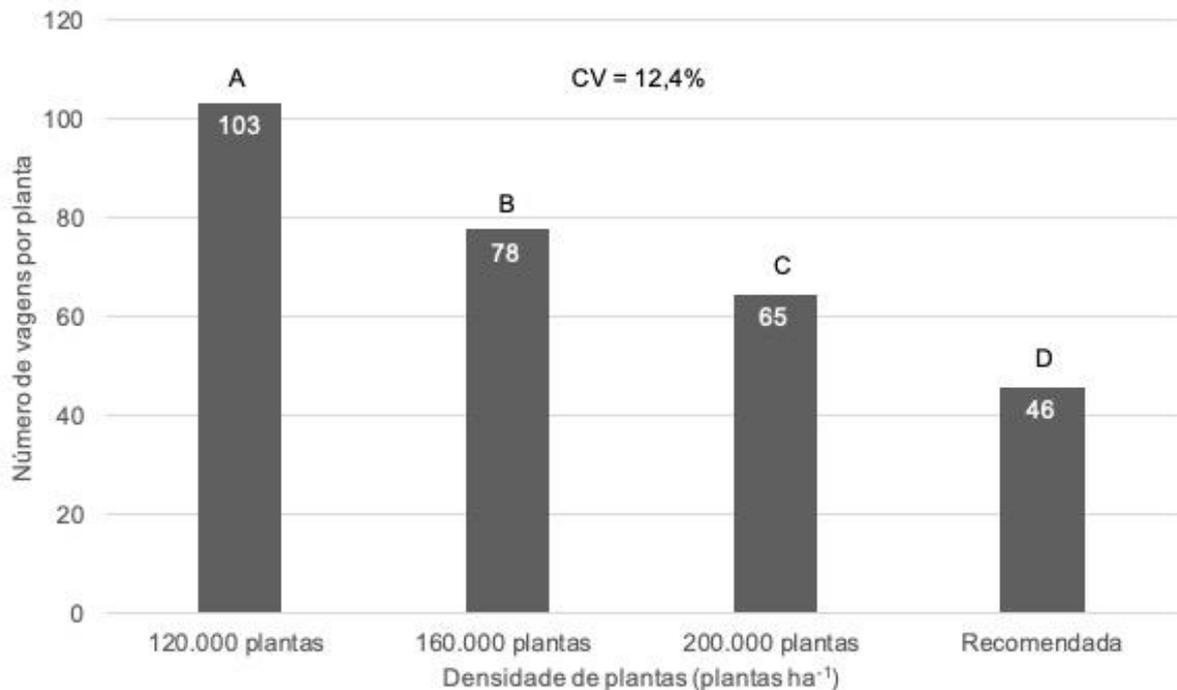
CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborada pelo autor, 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 4). Na densidade de 120.000 plantas ha⁻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 plantas ha⁻¹ e 200.000 plantas ha⁻¹ produziram 78 e 65 vagens por planta, respectivamente. A densidade recomendada foi a que menos produziu vagens por planta, com valor médio de 46, representando uma redução de 56% em comparação com a menor densidade de plantas.

O aumento no número de vagens por planta é o mecanismo compensatório mais importante para a plasticidade fenotípica da soja (BALBINOT JUNIOR, 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).

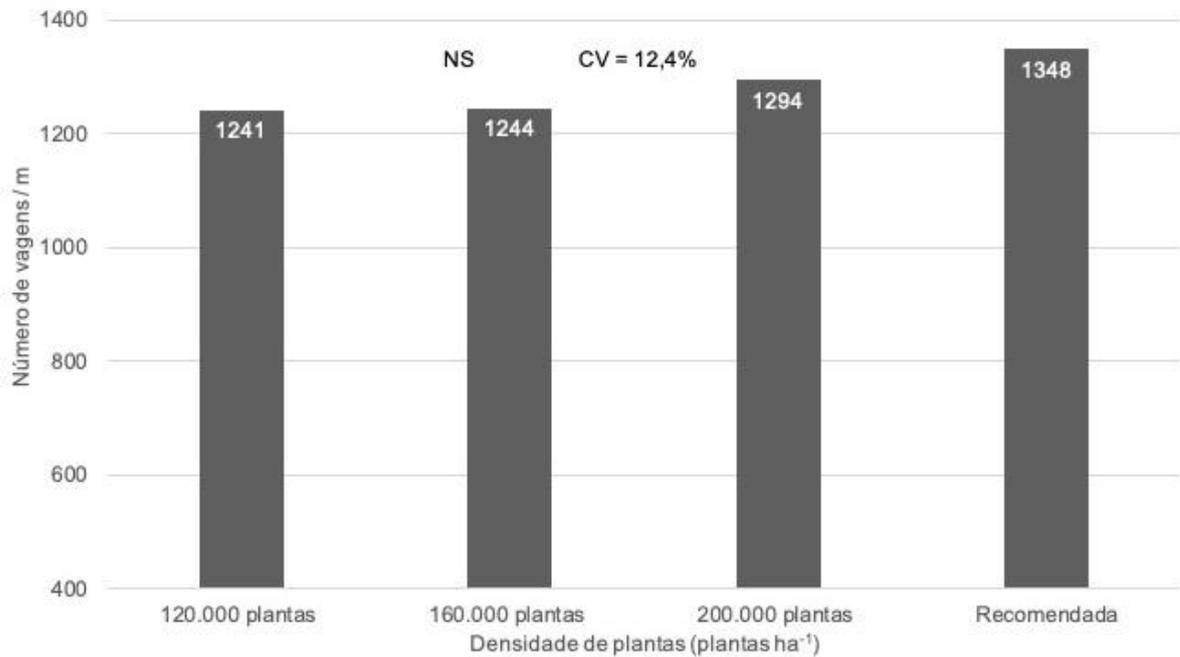
Figura 5 — Número de vagens por planta em função da densidade de plantas, na média de cinco cultivares de soja. Papanduva, SC, 2019/2020.



Médias seguidas pela mesma letra na maiúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.
 CV: coeficiente de variação.
 Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

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 5). 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. Segundo Rambo *et al.* (2003), Heiffig *et al.* (2006) e Balbinot Junior *et al.* (2015), a soja possui alta plasticidade fenotípica e é 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. 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.

Figura 6 — Número de vagens por m² em função da densidade de plantas, na média de cinco cultivares de soja. Papanduva, SC, 2019/2020.



NS: Diferenças entre médias não significativas

CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

O número de grãos por vagem apresentou diferença significativa entre as cultivares e não foi afetado pela densidade de plantas (Tabela 7). Isso mostra que este componente do rendimento está relacionado 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 (2,7). 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 7 — Número de grãos por vagem em função da cultivar e densidade de plantas de soja. Papanduva, SC, 2019/2020.

Cultivar	Densidade de plantas (x1000 ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	120	160	200	Testemunha		
AS3590 IPRO	2,5	2,5	2,5	2,6	2,5 b	5,2
BMX Ativa RR	2,6	2,5	2,7	2,6	2,6 ab	
BMX Zeus IPRO	2,7	2,6	2,9	2,7	2,7 a	
M5838 IPRO	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5 b	
NS5445 IPRO	2,6	2,7	2,9	2,6	2,6 ab	
Média	2,6	2,5	2,7	2,6 NS		
CV (%)	5,2					

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.

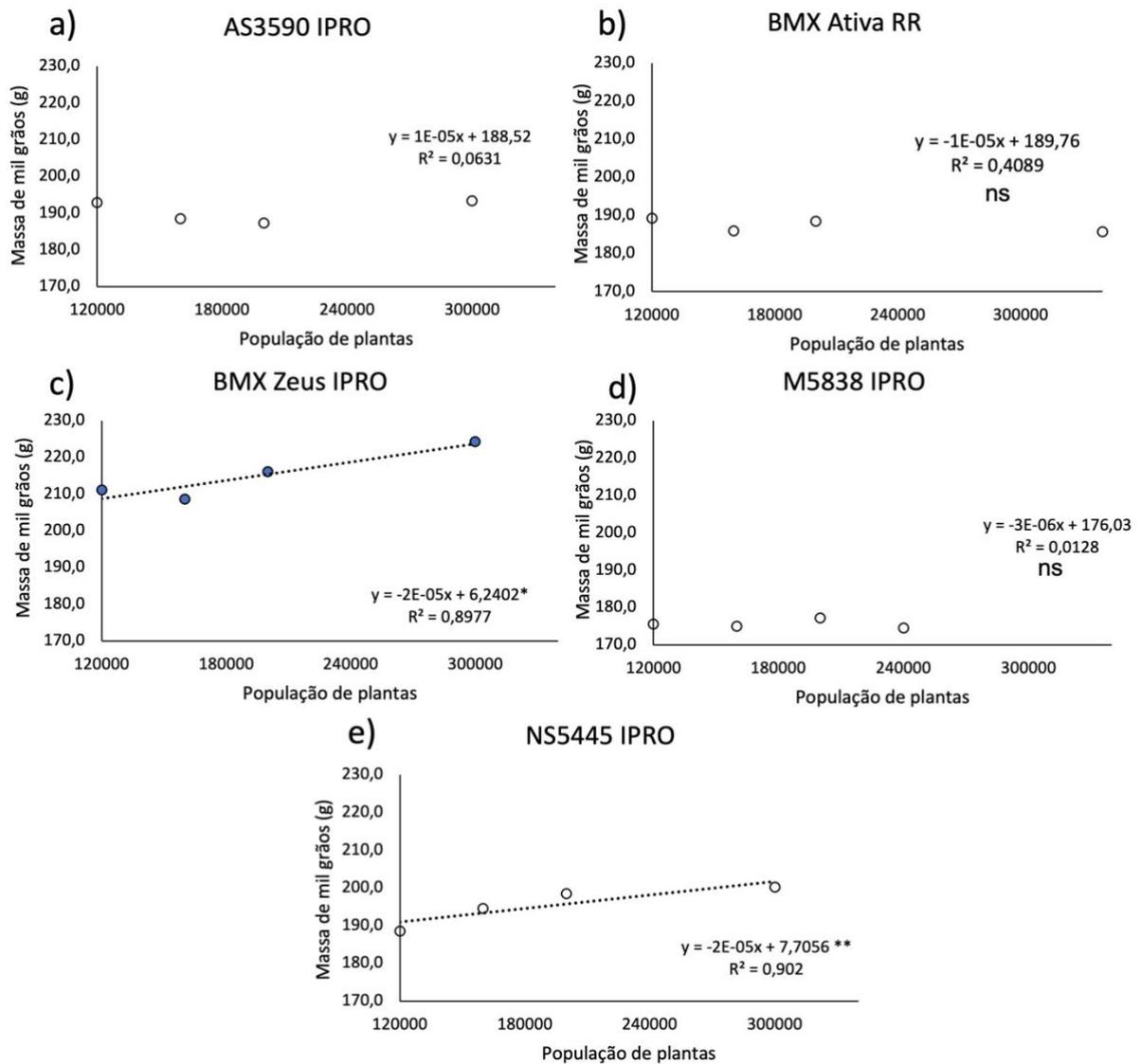
Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Para a massa de 1000 (MMG) grãos houve interação significativa entre cultivar e densidade de plantas (Figura 6). As cultivares BMX Zeus IPRO e NS5445 IPRO foram as únicas em que houve efeito significativo da análise de regressão. Com o aumento da densidade populacional para essas cultivares, houve incremento linear no PMG. O maior PMG foi da cultivar BMX Zeus IPRO com 224 gramas na população recomendada pela detentora. Essa cultivar também apresentou o maior PMG em todas as densidades de plantas, em comparação as demais. 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 na massa de grãos com o incremento de densidade de plantas. Segundo Carvalho *et al.*, (2002) e Perini *et al.*, (2012), o aumento do MMG em decorrência do incremento 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 na MMG 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).

Figura 7 — Massa de mil grãos (g) em função da densidade de plantas de soja. 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.



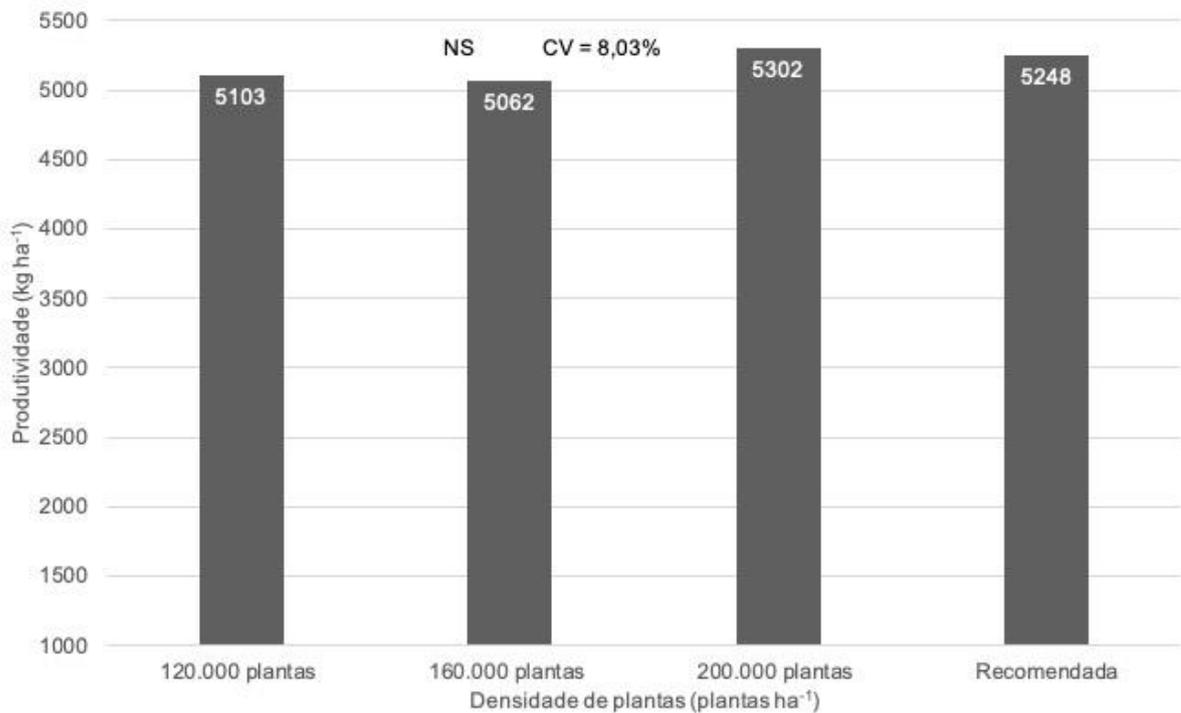
Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

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 7). 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 8. A cultivar com maior valor absoluto de 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, que foram de 3.359 e 3.273 kg ha⁻¹ na safra 2019/20, respectivamente (EPAGRI, 2020.; CONAB, 2020).

Figura 8 — Produtividade (kg ha⁻¹) em função da densidade de plantas, na média de cinco cultivares de soja. Papanduva, SC, 2019/2020.

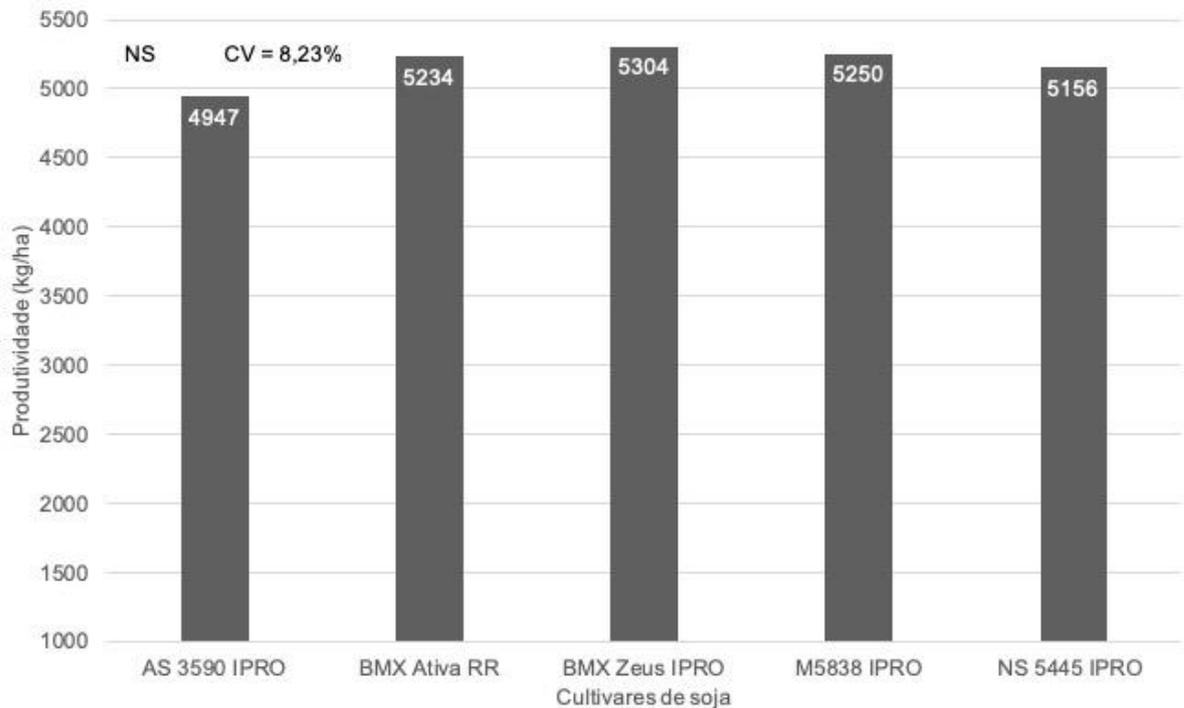


NS: Diferenças entre médias não significativas

CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Figura 9 — Produtividade (kg ha⁻¹) das cinco cultivares na média das quatro densidades populacionais. Papanduva, SC, 2019/2020.



NS: Diferenças entre médias não significativas

CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Pensando no aspecto econômico, este 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 ocorram perdas no rendimento. Na Tabela 8 há um exemplo econômico demonstrando a redução de custos que o produtor pode obter com a diminuição da densidade de semeadura.

Tabela 8 — Exemplo econômico da redução de custos com a diminuição da densidade populacional de sementes. Papanduva, SC, 2019/2020.

Dados	PMS = 0,200 kg	Preço médio do kg da semente R\$11,70
Densidade (sementes/ha)	Quantidade de Semente Kg ha ⁻¹	Custo R\$ ha ⁻¹
300.000	60	R\$702,00
120.000	24	R\$280,80
Redução	36	R\$421,20

PMS: Peso de mil sementes
 Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

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 fundamentais 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.

4.4 ÍNDICE DE COLHEITA

Os valores de F para a variável índice de colheita foram significativos apenas para o fator cultivar, não apresentando diferenças estatísticas para densidade de plantas e nem interação entre os fatores principais (Anexo 5).

Os maiores valores de índice de colheita (I.C.) foram observados na cultivar BMX Zeus IPRO, com média de 60% (Tabela 9). Já a cultivar AS 3590 IPRO apresentou o menor I.C., aproximadamente 51%. O índice de colheita é composto pela divisão da massa seca (MS) de grãos produzidos pela MS da parte aérea total da planta. Ele indica como foi feita a alocação dos fotoassimilados na planta, demonstrando a sua eficiência em concentrar os fotossintatos produzidos na produção de grãos. Diferindo do que ocorreu neste experimento, em trabalho realizado por

Manda ; Mataa (2020) observou-se uma tendência de aumento do índice de colheita nas menores densidades de plantas. Corroborando com os resultados do experimento, Gurmu *et al.* (2020) e A Saryoko *et al.* (2021) não encontraram efeito significativo da densidade sobre o índice de colheita.

Os resultados do trabalho demonstraram a capacidade da planta de soja em se autorregular e manter seu índice de colheita. Quando se aumenta a densidade de plantas, ocorre redução de estruturas como ramos e vagens, restando somente a haste central e suas vagens que conseqüentemente darão origem aos grãos. Quando há redução de densidade populacional, a planta é estimulada a produzir ramos e com esses ramos há aumento expressivo de vagens por planta, gerando mais grãos por planta. Porém, o índice de colheita se mantém estável porque para o aumento da produção de grãos por planta é preciso que ocorra incremento das estruturas responsáveis pela formação dos grãos, os ramos com suas vagens.

Os valores superiores do índice de colheita registrados para a BMX Zeus IPRO podem estar ligados ao perfil moderno da cultivar. Ela foi lançada no mercado recentemente e traz novas características morfofisiológicas e com potencial produtivo muito expressivo frente a outros genótipos. Suas estruturas compactas, inserção da primeira vagem menor, folíolos lanceolados, maior número de grãos por vagem e maior massa de mil grãos são características marcantes que a diferem das demais.

Tabela 9 — Índice de colheita (%) da soja em função da cultivar e densidade de plantas. Papanduva, SC, 2019/2020.

Cultivar	Densidade de plantas (x1000 ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	120	160	200	Testemunha		
AS3590 IPRO	51	52	49	51	51 d	4,27
BMX Ativa RR	55	56	57	57	56 b	
BMX Zeus IPRO	59	59	61	60	60 a	
M5838 IPRO	54	54	53	53	54 c	
NS5445 IPRO	56	55	54	55	55 bc	
Média	55	55	55	55 NS		
CV (%)	3,46					

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.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

4.5 SENSORIAMENTO REMOTO

Com a obtenção das imagens através dos voos feitos pelo VANT, posteriormente processadas e a aplicação de algoritmos, foi possível obter o índice de cobertura verde sobre o solo das áreas das unidades experimentais. Este índice varia de 0 até 1, sendo 0 sem nenhuma cobertura verde do solo e 1 uma cobertura de 100% do solo por área verde (PASQUALOTTO *et al.*, 2019). O índice mostrou o comportamento das densidades populacionais aplicadas nas cultivares de soja em um intervalo de tempo compreendido entre 33 dias após a semeadura até 63 dias após a semeadura. Foi possível observar diferenças no índice de cobertura. Conforme a população de plantas foi reduzida, também houve menor cobertura do solo neste intervalo de tempo. Depois do período de 63 dias após a semeadura todas as unidades experimentais apresentaram índice de cobertura do solo igual a 1, o que mais uma vez reforça a capacidade da cultura da soja em compensar as baixas populações com a plasticidade fenotípica, não acarretando prejuízos no rendimento final.

O sensoriamento remoto pode quebrar paradigmas quanto a avaliações morfológicas de campo, podendo trazer maior facilidade e em uma escala muito maior de cobertura, mas com um detalhamento muito preciso e específico, como por exemplo o índice de cobertura do solo. Através da sequência das Figuras 9 a 13 é possível observar o nível de detalhamento que o sensoriamento remoto pode atingir, seja com imagens de satélite ou voos aéreos com capturas de imagens. O trabalho foi realizado no estado de Santa Catarina, no município de Papanduva, nas áreas da fazenda Agrícola Igarashi Eireli, e mais especificamente no talhão denominado "Tilápia". Dentro do talhão foram alocadas 80 unidades experimentais que foram avaliadas separadamente, como pode ser visto na Figura 13.

A Tabela 10 apresenta os dados de erro de precisão nos três eixos: X, Y e Z, o erro total. Os valores estão expressos em milímetros, considerando que a altura do voo foi de 60 metros de altitude em relação ao nível do solo, fica claro que os erros encontrados são valores muito baixos, variando de 0,2 mm até 5,3 cm, o que pode ser considerado um ótimo resultado quanto a precisão dos índices gerados. Além disso, estão expressos os erros em pixels e as projeções com o número de imagens que cobriram as parcelas.

Figura 10 — Imagem de satélite do estado de Santa Catarina – Brasil



Fonte: Google Earth, 2021.

Figura 11 — Imagem de satélite com os limites do município de Papanduva - Santa Catarina.



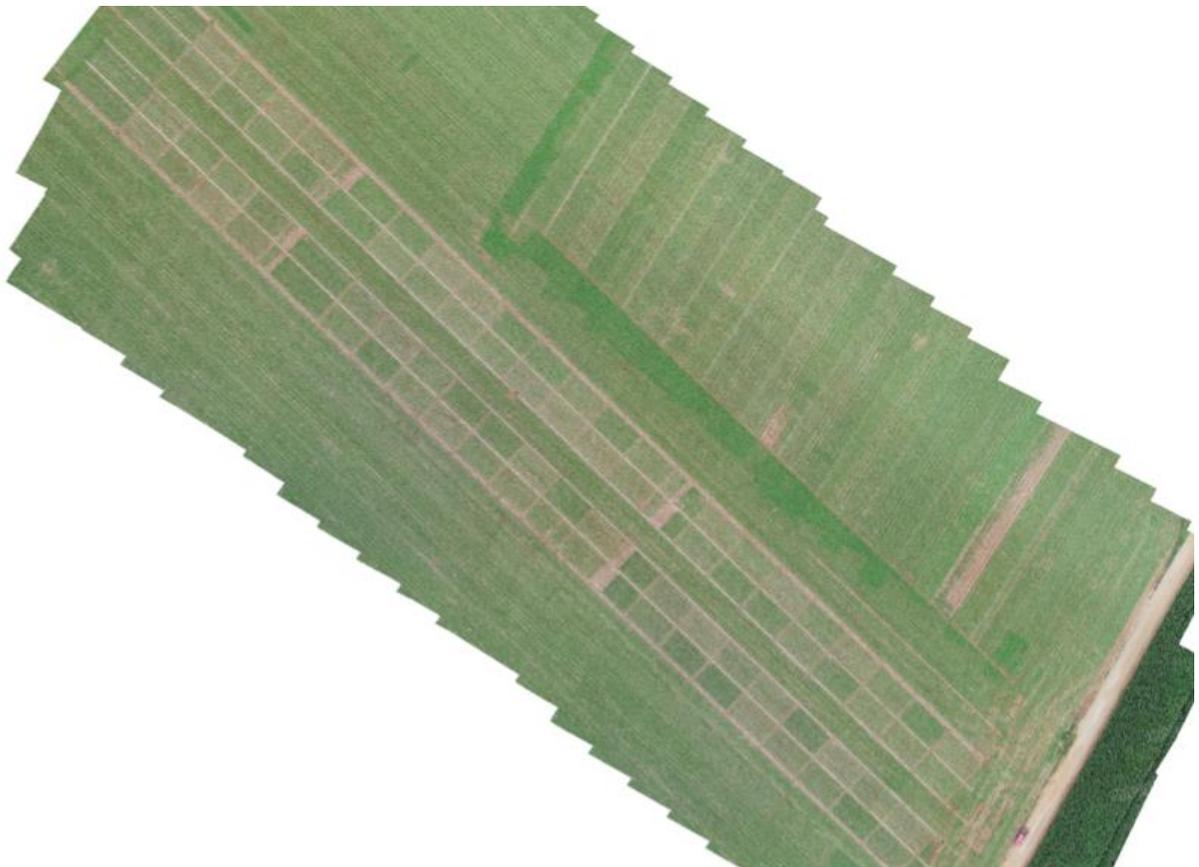
Fonte: IBGE, 2018.

Figura 12 — Imagem de satélite talhão Tilápia - Agrícola Igarashi Eireli



Fonte: Google Earth, 2021.

Figura 13 — Imagem aérea do experimento obtida por VANT. Papanduva, SC, 2019/2020.



Fonte: próprio autor, 2021.

Figura 14 — Polígonos de cobertura do solo pelo dossel das cultivares de soja em diferentes populações. Papanduva, SC, 2019/2020.

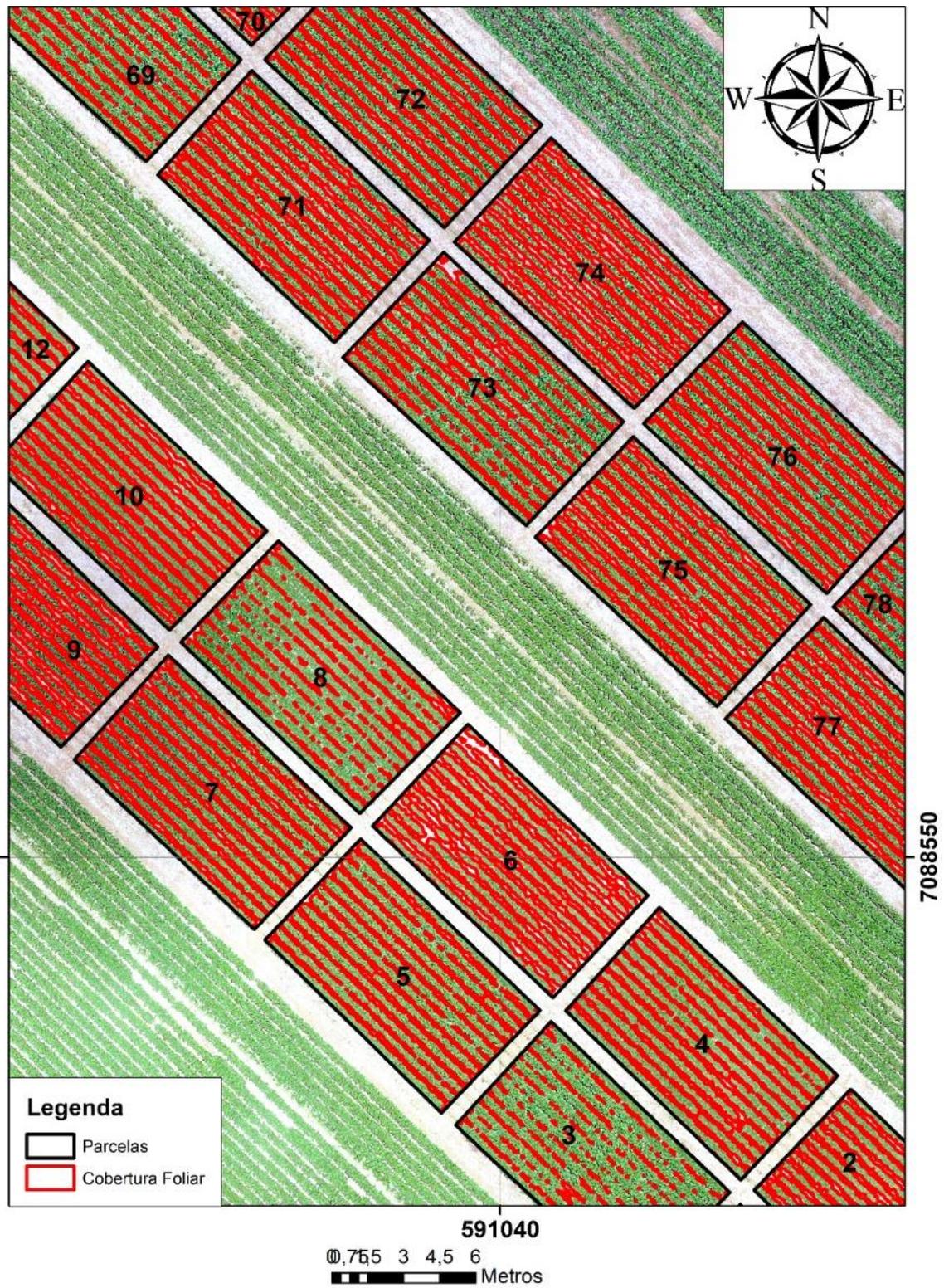


Tabela 10 — Total de Erros de precisão nos eixos X, Y e Z. Erro total nas três dimensões, erro em pixel e número de projeções por data de voo. Papanduva, SC, 2019/2020.

Data	Erro (mm)				Erro Pixel	Projeções
	X	Y	Z	Total		
14/12/2019	5	8	19	21	0,28	47
20/12/2019	6	10	11	17	0,37	106
24/12/2019	5	5	1	8	0,29	95
30/12/2019	10	14	8	23	0,44	91
06/01/2020	8	3	5	10	0,37	95
13/01/2020	10	6	7	14	0,43	97
25/01/2020	7	8	4	12	0,33	91
01/02/2020	3	5	0,2	6	0,33	81
07/02/2020	8	9	53	55	0,82	121
06/03/2020	6	9	4	12	0,53	96
12/03/2020	10	13	11	20	0,49	49
17/03/2020	4	2	0,5	4	0,19	75
24/03/2020	4	4	13	5	0,2	91

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Na data de 14 de dezembro de 2019 as plantas estavam com 33 dias pós semeadura, onde apresentavam desenvolvimento inicial do dossel e basicamente todas as parcelas apresentavam superfície de solo exposto, mas havia diferenças de cobertura do solo conforme as densidades populacionais as quais as cultivares foram submetidas, como está demonstrado o índice de cobertura do solo na Tabela 11.

Conforme o aumento na densidade populacional, houve incremento no índice de cobertura. Os menores índices de cobertura do solo foram registrados para a densidade populacional de 120.000 plantas ha⁻¹, com média de 0,32 ou 32% de cobertura do solo na média das cinco cultivares de soja. Já nas densidades recomendadas pelas detentoras, o índice de cobertura foi de 0,55 ou 55%, apresentando um fechamento das entrelinhas muito mais rápido no período inicial do estabelecimento da cultura.

Tabela 11 — Índice de cobertura do solo para as cinco cultivares de soja e quatro densidades de plantas na data de 14 de dezembro de 2019. Papanduva, SC, 2019/2020.

Cultivar	Densidade de plantas (x1000 ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	120	160	200	Testemunha		
AS3590 IPRO	0,29	0,39	0,42	0,55	0,41	9,66
BMX Ativa RR	0,36	0,43	0,48	0,56	0,46	
BMX Zeus IPRO	0,33	0,40	0,45	0,56	0,44	
M5838 IPRO	0,32	0,41	0,45	0,52	0,43	
NS5445 IPRO	0,28	0,38	0,45	0,55	0,42	
Média	0,32 D	0,40 C	0,45 B	0,55 A	NS	
CV (%)	6,37					

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, 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.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

O comportamento observado na data de 14 de dezembro de 2019 se repetiu durante as datas de 20 de dezembro 2019 (Tabela 12) até o voo do dia 06 de janeiro de 2020 (Tabela 15), onde a densidade populacional recomendada pela detentora e a população de 200.000 plantas ha⁻¹ apresentaram os maiores índices de cobertura do solo, chegando a 1 ou 100%. As densidades populacionais de 120.000 e 160.000 plantas ha⁻¹ ainda não haviam alcançado o índice máximo de cobertura do solo pelo dossel das plantas.

Tabela 12 — Índice de cobertura do solo para as cinco cultivares de soja e quatro densidades de plantas na data de 20 de dezembro de 2019. Papanduva, SC, 2019/2020.

Cultivar	Densidade de plantas (x1000 ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	120	160	200	Testemunha		
AS3590 IPRO	0,59	0,69	0,71	0,88	0,72 a	8,14
BMX Ativa RR	0,59	0,67	0,72	0,85	0,71 a	
BMX Zeus IPRO	0,56	0,64	0,70	0,82	0,68 ab	
M5838 IPRO	0,52	0,63	0,68	0,75	0,64 b	
NS5445 IPRO	0,56	0,67	0,74	0,86	0,71 ab	
Média	0,57 D	0,66 C	0,71 B	0,83 A		
CV (%)	3,83					

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.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Durante o período de 20 de dezembro de 2019 (Tabela 12), 24 de dezembro de 2019 (Tabela 13), 30 de dezembro de 2019 (Tabela 14) e 06 de janeiro de 2020 (Tabela 15), o índice de cobertura do solo pelo dossel das plantas apresentou o mesmo padrão. Ele teve incrementos com o decorrer do ciclo da cultura e conforme o aumento na densidade de plantas. A densidade de 120.000 plantas ha⁻¹ obteve um incremento médio no índice de cobertura do solo de 20% neste período, com 0,57 (57%) em 20 de dezembro de 2019, chegando a 0,98 (98% de cobertura do solo) na data de 06 de janeiro de 2020. A densidade de 160.000 plantas ha⁻¹ apresentou incremento médio no índice de cobertura do solo de 15% no período descrito. Iniciando com 0,66 (66% de cobertura do solo) na data de 20 de dezembro de 2019 chegando a 0,99 (99%) em 06 de dezembro de 2020.

Tabela 13 - Índice de cobertura do solo para as cinco cultivares de soja e quatro densidades de plantas na data de 24 de dezembro de 2019. Papanduva, SC, 2019/2020.

Cultivar	Densidade de plantas (x1000 ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	120	160	200	Test.		
AS3590 IPRO	0,61	0,72	0,74	0,88	0,74 a	6,4
BMX Ativa RR	0,58	0,69	0,72	0,85	0,71 ab	
BMX Zeus IPRO	0,59	0,66	0,72	0,85	0,70 ab	
M5838 IPRO	0,54	0,64	0,70	0,77	0,66 b	
NS5445 IPRO	0,61	0,71	0,79	0,89	0,75 a	
Média	0,59 D	0,68 C	0,73 B	0,85 A		
CV (%)	3,59					

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.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

A densidade de 200.000 plantas ha⁻¹ obteve acréscimo médio de 13% no índice de cobertura do solo no período descrito. Inicialmente com 0,71 (71%) atingindo 1 (100%), o ponto máximo do índice de cobertura de solo na data de 06 de janeiro de 2020. O mesmo ocorreu para as densidades recomendadas pelas detentoras, porém o acréscimo médio no índice de cobertura do solo conforme o decorrer do ciclo foi de 7% para o período descrito, iniciando com 0,83 (83%) na data de 20 de dezembro de 2019 e atingindo o ponto máximo de 1 na data de 06 de janeiro de 2020.

Tabela 14 — Índice de cobertura do solo para as cinco cultivares de soja e quatro densidades de plantas na data de 30 de dezembro de 2019. Papanduva, SC, 2019/2020.

Cultivar	Densidade de plantas (x1000 ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	120	160	200	Test.		
AS3590 IPRO	0,92	0,96	0,96	0,98	0,95 a	3,77
BMX Ativa RR	0,88	0,91	0,93	0,96	0,92 ab	
BMX Zeus IPRO	0,87	0,89	0,90	0,95	0,90 b	
M5838 IPRO	0,88	0,93	0,95	0,96	0,93 ab	
NS5445 IPRO	0,87	0,93	0,94	0,96	0,92 ab	
Média	0,88 C	0,92 B	0,93 B	0,96 A		
CV (%)	1,77					

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.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Foi possível observar que nas datas descritas o incremento no índice de cobertura do solo foi maior nas densidades menores, mostrando que a cultura da soja possui grande potencial em compensar os espaços vazios, emitindo mais ramos e trifólios, afim de equilibrar o seu meio devido a menor densidade populacional, possivelmente alcançando o índice de área foliar similar das maiores densidades populacionais, porém com um período mais longo para atingir o IAF máximo, assim como o período de alcance do índice máximo de cobertura do solo é maior para as menores densidades de plantas.

Outro aspecto relevante a destacar é que a partir do dia 6 de janeiro, a cultura já apresentava uma cobertura de solo superior a 95% (Tabela 15). Neste momento, a cultura se encontrava no estágio R2. Isto indica que, independentemente da densidade utilizada no trabalho, a soja alcançou seu índice de área foliar crítico necessário para interceptar 95% da radiação incidente no início da fase reprodutiva. Esta característica é fundamental para que a cultura possa alcançar seu máximo potencial produtivo (HEIFFIG *et al.*, 2006).

Tabela 15 — Índice de cobertura do solo para as cinco cultivares de soja e quatro densidades de plantas na data de 06 de janeiro de 2020. Papanduva, SC, 2019/2020.

Cultivar	Densidade de plantas (x1000 ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	120	160	200	Test.		
AS3590 IPRO	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	
BMX Ativa RR	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	
BMX Zeus IPRO	0,99	0,98	0,99	1,00	0,99	1,29
M5838 IPRO	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	
NS5445 IPRO	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	
Média	0,98	0,99	1,00	1,00	NS	
CV (%)						1,00

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, 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.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

A partir de 13 de janeiro de 2020 todas as densidades populacionais atingiram o índice máximo de cobertura do solo e permaneceram dessa forma até o início da senescência foliar devido ao final do ciclo da cultura, onde naturalmente inicia-se o processo de perda de folhas pela planta. A equalização do índice de cobertura do solo em todas as parcelas confirmou a capacidade da cultura da soja em se transformar morfológicamente emitindo mais ramos e conseqüentemente mais estruturas como folhas, vagens e grãos, não prejudicando o rendimento final de grãos como foi constatado neste trabalho.

Tabela 16 — Índice de cobertura do solo para as cinco cultivares de soja e quatro densidades de plantas na data de 13 de janeiro de 2020. Papanduva, SC, 2019/2020.

Cultivar	Densidade de plantas (x1000 ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	120	160	200	Test.		
AS3590 IPRO	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
BMX Ativa RR	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	
BMX Zeus IPRO	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,54
M5838 IPRO	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
NS5445 IPRO	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	
Média	1,00	1,00	1,00	1,00	NS	
CV (%)						1,05

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, 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.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Este tipo de ferramenta pode agregar muito nas avaliações de ensaios de campo, onde geralmente as avaliações são dispendiosas e dependem de muitas pessoas envolvidas para dar agilidade aos processos. Quando se utiliza o sensoriamento remoto, é possível uma única pessoa ou equipe pequena para voo, processamento das imagens e interpretação dos dados. Em função disto, cada vez mais esse tipo de ferramenta deve ganhar espaço e validação nas avaliações realizadas a campo, de modo que facilite e traga dados mais precisos para os experimentos e para a agricultura comercial.

5 CONCLUSÕES

Todas as cultivares utilizadas no ensaio apresentam grande plasticidade fenotípica, não reduzindo o seu índice de área foliar e o número de vagens produzidas por área com a diminuição da densidade para 120.000 pl ha⁻¹.

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 utilizada no Planalto Norte Catarinense para diminuir a estatura de plantas, o acamamento e os custos de implantação da lavoura.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A redução na densidade de plantas é uma prática que vem sendo adotada com o passar dos anos na cultura da soja. 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.

A hipótese principal deste trabalho era de que a população de plantas recomendada pelas detentoras está superestimada, pois regiões de planalto com altitudes acima de 800m induzem as cultivares a mudar seu comportamento morfofisiológico, diferindo dos resultados obtidos em ensaios com população conduzidos em outras regiões.

Os dados obtidos confirmaram esta hipótese. Eles mostraram que a redução na população de plantas não reduziu o índice de área foliar, o índice de colheita e nem tão pouco o rendimento de grãos, mas auxiliou no controle do porte das plantas e no espessamento das hastes, reduzindo o risco de acamamento. Além disso, o uso de menores densidades pode ser uma estratégia interessante para o controle de doenças foliares e do caule, pois a aplicação dos produtos no controle químico atinge por um período maior as estruturas do terço inferior e o período de molhamento e formação de microclima é minimizado pela entrada de radiação solar por mais tempo.

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.

Além disto, deve-se ressaltar que os dados reportados nesta dissertação são oriundos de apenas um ano de estudo a campo. Portanto, este trabalho deve ser repetido em outras estações de crescimento e locais para confirmar as informações obtidas. Deve-se também avaliar outras cultivares mais recentes, com maior potencial produtivo e novas biotecnologias, como a plataforma INTACTA2 XTEND® e sistema Enlist®. Isso é fundamental para que se possa recomendar com maior assertividade as cultivares com suas respectivas densidades de plantas mais adequadas para épocas e regiões produtoras de Santa Catarina.

O uso do sensoriamento remoto pode auxiliar nas avaliações de campo, trazendo dados em menor espaço de tempo e com avaliações mais precisas do que as determinações manuais realizadas atualmente. Contudo, ainda há muito para se desenvolver neste campo.

REFERÊNCIAS

- ALIYEV, J. A.; MIRZOYEV, R. S. Photosynthesis and Productivity of Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. **Proceedings of ANAS (Biological Sciences)**, v. 65, p. 60 – 70, 2010.
- A SARYOKO; YURSAK, Z.; ASTUTI, Y.; KURNIAWATI, S.; MULYAQIN, T. Yield performace of shade tolerant soybean cultivars under shaded environment at various planting densities. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 715, n. 1, 2021.
- ARANTES, E. N.; ZITO, K. R.; ZANETTI, L. A.; FRONZA, V. DE SÁ, L. E. M. Cultivares de soja. **Embrapa Soja**, v. 1, p. 46, 2010.
- BALBINOT JUNIOR, A. A. Acamamento de plantas na cultura da soja. **Revista Agropecuária Catarinense**, v.25, n. 1, 2012.
- BALBINOT JUNIOR, A. A. *et al.* Densidade de Plantas Na Cultura da Soja. **Embrapa Soja**, v. 1, p. 36, 2015.
- BALBINOT JUNIOR, A. A. *et al.* Índice de área foliar da soja em função da redução de densidade de semeadura. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento – Embrapa Soja**, v. 17, p. 17, 2018.
- 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. **Revista Ciências Agrárias**, v.36, p.1215- 1226, 2018.
- BERTELLI, A. G.; JADOSKI, O. S.; DOLATO, L. M.; RAMPIM, L.; MAGGI, F. M. Desempenho da Plantabilidade de semeadoras pneumática na implantação da cultura da soja no cerrado piauiense – Brasil. **Applied Research ; Agrotechnology**, v. 9, n. 1, p. 93-103, 2016.
- BOARD, J. Reduced Lodging for Soybean in Low Plant Population is Related to Light Quality. **Crop Science**. V. 41, n. 2, p. 379-384, 2001.
- BONATO, E.R., BONATO, A.L.V. **A SOJA NO BRASIL: História e Estatística**. Londrina: Embrapa soja, p. 61, 1987.
- BUCHLING, C.; OLIVEIRA NETO, M. A.; GUERRA, N.; BOTTEGA, L. E. Uso da plasticidade morfológica como estratégia para a redução de plantas em cultivares de soja. **Revista Agrarian**, v. 10, n. 35, p. 22-30, 2017.
- CARCIOCHI, W. D. *et al.* Soybean Seed Yield Response to Plant Density by Yield Environment in North America. **Agronomy Journal**, v. 3, n. 4, p. 10, 2019.
- CARVALHO, P. G. C.; ARIAS, A. A. C, TOLEDO, F. F. J.; OLIVEIRA, F. M.; VELLO, A. N. Correlação e análise de trilha em linhagens de soja semeadas em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 311-320, 2002.

CARVALHO J. F. C. *et al.* Phenotyping Soybeans for Drought Responses Using Remote Sensing. **Global Science and Technology**, v. 8, n. 2, p. 1–16, 2015.

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

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre, SBCS/Núcleo Regional Sul, 2016. 376p.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. - Companhia Nacional de Abastecimento v.7, n.12, 2020. Brasília, 2020.

CONAB. **Análise mensal soja safra 2020/21**. Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-soja> Acesso em 24 jan. 2021.

COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL ALFA (COOPERALFA). **Catálogo de cultivares safra 2021/22**. Papanduva, p. 28, 2021.

DE LUCA, M. J.; HUNGRIA, M. Plant densities and modulation of symbiotic nitrogen fixation in soybean. **Scientia Agricola**, v.71, p.181- 187, 2014.

EMBRAPA. História, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/historia> Acesso em 24 jan. 2020.

EPAGRI. Boletim Agropecuário fevereiro/2019. **CEPA**, v. 69, p. 48, 2019.

EPAGRI. Boletim Agropecuário junho/2020. **CEPA**, v. 315, p. 55, 2020.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. **Physiology of crop production**. New York: Taylor and Francis, 2006. 345 p.

FENDRICH, R. Chuvas e produtividade da soja na fazenda Galha Azul da PUCPR. **Revista acadêmica: Ciências agrárias e ambientais**, v. 1, n. 2, p. 37-46, 2003.

FERREIRA, A. S. *et al.* Plant spatial arrangement affects grain production from branches and stem of soybean cultivars. **Bragantia**, v. 77, n. 4, p. 567–576, 2018.

FOLONI, S. J. Ajuste da população de plantas amplia o desempenho das cultivares de soja. **Radar da Tecnologia**, Blog Canal Rural, 2017. Disponível em: <http://pinheiro.cnpsa.embrapa.br:8080/documents/10179/16724/Ajuste+da+popula%C3%A7%C3%A3o+de+plantas+amplia+o+desempenho+das+cultivares+de+soja/97e02121-2300-4dd9-8c57-6ad0f87fbf73?version=1.0> Acesso em 19 jun. 2021.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 28

GARCIA, A. G. **Cultivos herbáceos extensivos**. 6. ed. Madri: Mundi-prensa, 1999.

GARCIA, A. *et al.* Instalação da lavoura de soja: época, cultivares, espaçamento e população de plantas. **Circular Técnica**, v. 51, p. 1–12, 2007.

GARCIA, A. R.; PROCÓPIO, O. S.; BALBINOT JUNIOR, A. A., Produção de soja em diferentes arranjos espaciais de plantas no Paraná e em Mato Grosso do Sul. **Embrapa Agropecuária Oeste**, v. 140, p. 42, 2017.

GASO, D. Respuesta del rendimiento de soja a la densidad de siembra en ambientes de productividad contrastante. **Agrociencia Uruguay**, v. 22, n. 2, p. 1–12, 2018.

GOFFI, M.; TIRONI, P. S.; RADUNZ, L. A.; TRAMONTIN, A. M. Produtividade e retorno econômico da cultura da soja com tecnologia INTACTA®. **Agrarian Academy**, v. 4, n. 7, p.380, 2017.

GURMU, S., BIYA, M.; YADETE, E. Validation of soybean (*Glycine max. L.*) to NP fertilizer rates and plant population densities at Jimma, Southwestern Ethiopia. **International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology**, v. 7, n. 9, p. 16-21, 2020.

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**, Campinas, v.65, n.2, p.285-295, 2006.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. **Documentos 349-Embrapa Soja.**, p. 37, 2014.

HOU, M. *et al.* Evaluation of canopy temperature depression, transpiration, and canopy greenness in relation to yield of soybean at reproductive stage based on remote sensing imagery. **Agricultural Water Management**, v. 222, n. June, p. 182–192, 2019.

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. 2. ed. Upper Saddle River, Nj: Prentice Hall, 2007. 592 p.

JOHN DEERE, **Plantadeiras Série 2100**, Horizontina – RS, 2020. Disponível em: <https://www.deere.com.br/pt/magazines/publication.html?id=42a7aa6d#12> Acesso em: 20 jun. 2021.

KOTTEK, M. *et al.*, **World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated**. Meteorol. Z., v.15, p.259-263, 2006.

KRZYZANOWSKI, C. F.; FRANÇA NETO, B. J.; HENNING, A. A. A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura. **Circular Técnica Embrapa**, n. 136, p. 24, 2018.

KUSS, R. C. R.; KÖNIG, O.; DUTRA, L.M.C.; BELLÉ, R.A.; ROGGIA, S.; STURNER, G.R. Populações de plantas e estratégias de manejo da irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural**, v.38, p.1133-1137, 2008.

LIU, B.; LIU, X. B.; WANG, C.; LI, Y. S.; JIN, J.; HERBERT, S. J. Soybean yield and yield component distribution across the main axis in response to light enrichment and shading under different densities. **Plant Soil Environ**, v. 56, n. 8, p. 384-392, 2010.

LIU, G. *et al.* Development of yield and some photosynthetic characteristics during 82 years of genetic improvement of soybean genotypes in northeast China. **Australian Journal of Crop Science**, v. 6, n. 10, p. 1416–1422, 2012.

MANDA, N.; MATAA, M. Responses of soybeans (*Glicine max* (L.) Merrill) associated with variable plant density stress applied at different phenological stages: Plasticity or elasticity? **African Journal of Biotechnology**, v. 19, n. 6, p. 307-319, 2020.

MARCHIORI, L. F. S. *et al.* Desempenho vegetativo de cultivares de soja *Glycine max* (L.) Merrill em épocas normal e safrinha. **Scientia Agricola**, v. 56, n. 1, p. 383-390, 1999.

MARTINS, M. C.; CÂMARA, G. M. S.; PEIXOTO, C. P.; MARCHIORI, L. F. S.; LEONARDO, V.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de cultivares de soja. **Scientia Agricola**, v. 56, n. 4, 1999.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Ed. Evagranf, Porto Alegre, 31p. 2005.

PASQUALOTTO, N.; DELEGIDO, J.; WITTENBERGHE, V. S. RINALDI, M.; MORENO, J. Multi-crop Green LAI Estimation with A New Simple Sentinel-2 LAI Index (SeLI). **Sensors**, v. 19, n. 904, p. 1-19, 2019.

PEIXOTO, C. P.; CÂMARA, G. M. S.; MARTINS, M. C.; MARCHIORI, L. F. S.; GUERZONI, R.A.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. **Scientia Agricola**, v. 57, p.89-96, 2000.

PELUZIO, J. M.; FIDELIS, R. R.; ALMEIDA JÚNIOR, D.; SANTOS, G. R.; DIDONET, J. Comportamento de cultivares de soja sob condições de várzea irrigada no sul do Estado do Tocantins, entressafra 2005. **Bioscience Journal**, v. 24, n.1, p. 75-80, 2008.

PERINI, J. L.; FONSECA JUNIOR, S. N.; DESTRO, D.; PRETE, C. E. C. Components of the production in soybean cultivars with determinate and indeterminate growth. **Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2531-2544, 2012.

PETTER, A. F.; DA SILVA, A. J.; ZUFFO, M. A.; ANDRADE, R. F.; PACHECO, P. L.; DE ALMEIDA, A. F. Does high seeding density increase soybean productivity? Photosynthetically active radiation responses. **Bragantia**, v. 75, n. 2, p. 173-183, 2016.

POTTER, O. R.; CARVALH, P. A.; FLORES, A. C.; BOGNOLA, I. Solos do Estado de Santa Catarina. **Embrapa Solos**, n. 46, p 745, 2004.

PRICINOTTO, L. F.; ZUCARELI, C. Paclobutrazol no crescimento e desempenho produtivo da soja sob diferentes densidades de semeadura. **Revista Caatinga**, v.27, p.65-74, 2014.

PROCOPIO, 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**, v.56, p.319-325, 2013.

RAMBO, L. *et al.* Soybean yield response to plant arrangement. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p. 405–411, 2003.

RICHETTI, A. Viabilidade econômica da cultura da soja para a safra 2019/2020, na região centro-sul de Mato Grosso do Sul. **Comunicado técnico Embrapa**, n. 251, 2019.

RICHTER, G. L.; ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; GUEDES, J. V. C.; KRAULICH, B.; ROCHA, T. S. M.; WINCK, J. E. M.; CERA, J. C. Estimativa de área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. **Bragantia**, v. 73, n. 4, p. 416-425, 2014.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E.; BENSON, G. O. **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 20 p. 1977.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; DA LUZ, J. S. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 431- 437, 2001.

RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C.; BERTAGNOLLI, P. F.; COSTENARO, E. R.; KAPP, A. C. P. Rendimento de grãos de soja: efeito do espaçamento e da densidade. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento – Embrapa Trigo**, 2011.

ROWNTREE, S. C. *et al.* Physiological and phenological responses of historical soybean cultivar releases to earlier planting. **Crop Science**, v. 54, n. 2, p. 804–816, 2014.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. **Melhoramento da soja**. In: BORÉM, A. (ed). Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa-MG: UFV, 1999. p.478-533

SEO, B. *et al.* Improving remotely-sensed crop monitoring by NDVI-based crop phenology estimators for corn and soybeans in Iowa and Illinois, USA. **Field Crops Research**, v. 238, n. May, p. 113–128, 2019.

SILVA, A.C.; LIMA, E.P.C.; BATISTA H.R. **A importância da soja para o agronegócio brasileiro: uma análise sob o enfoque da produção, emprego e exportação**. 2018. Disponível em:
http://www.apec.unesc.net/V_EEC/sessoes_tematicas/Economia%20rural%20e%20agricultura%20familiar/A%20IMPORT%C3%82NCIA%20DA%20SOJA%20

PARA%20O%20AGRONEG%C3%93CIO%20BRASILEIRO.pdf. Acesso em: 20 janeiro 2020.

SOARES, M. R.; COSTAMILAN, M. L.; NUNES, M. D. C.; STRIEDER, L. M.; PIRES, F. L. J. Impacto do arranjo de plantas sobre a incidência, a severidade e o controle das principais doenças da soja. **Embrapa soja**, v. 387, p. 40, 2017.

SOUZA, C. A.; GAVA, F.; CASA, R. T.; BOLZAN, J. M.; KUHNEM JUNIOR, P. R. Relação entre densidade de plantas e genótipos de soja Roundup Ready. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 887-896, 2010.

SOUZA, C. A.; FIGUEIREDO, B. P.; COELHO, C. M. M.; CASA, R. T.; SANGOI, L. Arquitetura de plantas e produtividade de soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 3, p. 634-643, 2013.

SOUZA, R.; TEIXEIRA, I.; REIS, E.; SILVA, A. Soybean morphophysiology and yield response to seeding systems and plant populations. **Chilean Journal of Agricultural Research**, [S.L.], v. 76, n. 1, p. 3-8, mar. 2016.

STRIEDER, L. M. *et al.* Antecipação da semeadura da soja e a viabilidade da sucessão trigo/cevada no sul do país. **Atas e Resumos 41ª Reunião Pesquisa de Soja - Região Sul**, v. 41, p. 165-171, 2016.

SUHRE, J. J.; WEIDENBENNER, N. H.; ROWNTREE, S. C.; WILSON, E. W.; NAEVE, S. L.; CONLEY, S. P.; CASTEEL, S. L.; CONLEY, S. P.; CASTELL, S. N.; DIERS, B. W.; ESKER, P. D.; SPECHT, J. E.; DAVIS, V. M. Soybean yield partitioning changes revealed by genetic gain and seeding rate interactions. **Agronomy Journal**, v.106, p. 1631-1642, 2014.

TAGLIAPIETRA, E. L.; STRECK, N. A.; ROCHA, T. S. M.; RICHTER, G. L.; SILVA, M. R.; CERA, J. C.; GUEDES, J. V. C.; ZANON, A. J. Optimum leaf área index to reach soybean yield potential in subtropical environment. **Agronomy journal**, v. 110, p. 932-938, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TOURINO, M. C. C.; DE REZENDE, P. M.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agrônômicas da soja. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1071–1077, 2002.

TREZZI M. M. *et al.* Competitive ability of soybean cultivars with horseweed (*Conyza bonariensis*). **Planta Daninha** 31: 543-550, 2013.

WERNER, F.; AGUIAR E SILVA, A. M.; FERREIRA, S. A.; ZUCARELI, C., BALBINOT JUNIOR, A. A. Grain, oil, and protein production on soybean stems and branches under reduced densities. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n.1, e7439, 2021.

ANEXOS

Anexo 1 — Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis Altura de planta (AP), Número de nós na haste principal (NN) e Inserção da primeira vagem (IP).

Fonte de Variação	GL	AP (cm)	NN	IP(cm)
Bloco	3	0,15ns	0,32ns	4,53ns
Cultivar (C)	4	228,8**	79,6**	259,5**
Resíduo C	12	-	-	-
Densidade (D)	3	36,4**	10,1**	47,7**
Int. CxD	12	0,86ns	1,23ns	2,17*
Resíduo D	45	-	-	-
Total	79	-	-	-

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$)

ns - não significativo ($p > 0,05$)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Anexo 2 — Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis Número de ramos por planta (NR), Diâmetro da haste principal (DH) e Índice de área foliar (IAF).

Fonte de Variação	GL	NR	DH (cm)	IAF
Bloco	3	1,58ns	0,99ns	0,83ns
Cultivar (C)	4	30,1**	7,5**	0,59ns
Resíduo C	12	-	-	-
Densidade (D)	3	63,4**	40,5**	0,75ns
Int. CxD	12	6,3**	1,5ns	1,05ns
Resíduo D	45	-	-	-
Total	79	-	-	-

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$)

ns - não significativo ($p > 0,05$)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Anexo 3 — Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis Número de vagens nos ramos (VNR), Vagens por planta (VP) e Número de grãos por vagem (NGV).

Fonte de Variação	GL	VNR	VP	NGV
Bloco	3	1,53ns	0,83ns	0,28ns
Cultivar (C)	4	10,1**	8,5**	7,31**
Resíduo C	12	-	-	-
Densidade (D)	3	107,8**	143,1**	2,71ns
Int. CxD	12	0,95ns	1,09ns	0,69ns
Resíduo D	45	-	-	-
Total	79	-	-	-

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$)

ns - não significativo ($p > 0,05$)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Anexo 4 — Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis Vagens na haste principal (VHP), Massa de mil grãos (PMG), Rendimento de grãos (RG) e Número de vagens por m²(VM).

Fonte de Variação	GL	VHP	MMG	RG	VM
Bloco	3	1,4ns	0,51ns	1,12ns	1,29ns
Cultivar (C)	4	13,9**	110,9**	1,71ns	11,1**
Resíduo C	12	-	-	-	-
Densidade (D)	3	22,4**	5,23**	1,52ns	2,1ns
Int. CxD	12	2,88**	3,19**	1,41ns	1,8ns
Resíduo D	45	-	-	-	-
Total	79				

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade (p<0,05)

ns - não significativo (p>0,05)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Anexo 5 — Valores de F segundo a análise de variância para a variável índice de colheita (IC) e as análises do sensoriamento remoto (em aberto)

Fonte de Variação	GL	IC (%)
Bloco	3	0,62ns
Cultivar (C)	4	30,9**
Resíduo C	12	-
Densidade (D)	3	0,23ns
Int. CxD	12	1,13ns
Resíduo D	45	-
Total	79	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade (p<0,05)

ns - não significativo (p>0,05)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Anexo 6 — Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis índice de cobertura de solo por datas dos voos.

Fonte de Variação	GL	14/dez	20/dez	24/dez	30/dez
Bloco	3	2,74ns	0,74ns	0,08ns	0,12ns
Cultivar (C)	4	0,8ns	4,52*	8,63**	4,3*
Resíduo C	12	-	-	-	-
Densidade (D)	3	242**	345**	365**	82**
Int. CxD	12	1,34ns	1,84ns	1,48ns	1,7ns
Resíduo D	45	-	-	-	-
Total	79				

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade (p<0,05)

ns - não significativo (p>0,05)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Anexo 7 — Valores de F segundo a análise de variância para as variáveis índice de cobertura de solo por datas dos voos.

Fonte de Variação	GL	06/jan	13/jan
Bloco	3	0,24ns	0,4ns
Cultivar (C)	4	1,3ns	1,8ns
Resíduo C	12	-	-
Densidade (D)	3	11,9**	3,7ns
Int. CxD	12	0,97ns	0,9ns
Resíduo D	45	-	-
Total	79		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$)

ns - não significativo ($p > 0,05$)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.