

Londrina, PR / Setembro, 2025

## Desempenho produtivo da soja em resposta a populações de plantas em ambientes com Latossolo e Plintossolo Pétrico do Tocantins

Leonardo José Motta Campos<sup>(1)</sup>, Edson Hirose<sup>(2)</sup>, Rodrigo Veras da Costa<sup>(3)</sup>, Beatriz Rodrigues Rocha<sup>(4)</sup>, Anderson Barbosa Evaristo<sup>(5)</sup>, Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida<sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Biologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Soja, Goiânia, GO. <sup>(2)</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, pesquisador da Embrapa Soja, Goiânia, GO. <sup>(3)</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. <sup>(4)</sup> Engenheira-agrônoma, mestranda em Agroenergia Digital, Universidade Federal do Tocantins, bolsista da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO. <sup>(5)</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor adjunto da Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG. <sup>(6)</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO.

**Resumo** - A crescente demanda mundial por soja tem impulsionado a incorporação de áreas com solos de baixa aptidão agrícola, como os Plintossolos Pétricos. Entretanto, a grande maioria dos cultivos anuais nestes solos não dispõe de um portfólio tecnológico adequado e sustentável, que eleve a estabilidade da produtividade frente às mudanças climáticas. Os Plintossolos Pétricos são caracterizados pela baixa aptidão agrícola, devido a grande parte do volume do solo ser ocupado por cascalhos, que reduz a capacidade de retenção de água e dificulta o estabelecimento da população de plantas almejada. Assim, o estabelecimento de uma população adequada de uma cultivar de soja em um Plintossolo Pétrico pode ser diferente de um Latossolo? Outro questionamento, um Plintossolo Pétrico poderia abrigar maiores populações de plantas de soja sem que estas sofressem maior impacto deste ambiente? Neste trabalho foram observadas respostas de duas cultivares de soja, cultivadas em populações entre 120 mil e 560 mil plantas por hectare, em Latossolo e Plintossolo Pétrico, por duas safras no estado do Tocantins. De acordo com os resultados observados, verifica-se que a população de plantas de soja pode ser trabalhada nos Plintossolos Pétricos, visando um aumento de produtividade, com sustentabilidade.

**Termos para indexação:** MATOPIBA; cascalho, seca, estande.

## Soybean yield performance in response to plant populations in Oxisol and Petric Plinthosol

**Abstract** - The growing global demand for soybeans has driven the incorporation of areas with low agricultural suitability soils, such as Petric Plinthosols. However, the vast majority of annual crops in these soils lack an adequate and sustainable technological portfolio to enhance yield stability in the face of climate change. Petric Plinthosols are characterized by low agricultural suitability, as much of the soil volume is occupied by gravel, which reduces

### Embrapa Soja

Rod. Carlos João Strass, s/n,  
acesso Orlando Amaral  
Caixa Postal 4006,  
CEP 86085-981  
Distrito de Warta  
Londrina, PR  
(43) 3371 6000  
www.embrapa.br/soja  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

### Comitê Local de Publicações

#### Presidente

Roberta Aparecida Carnevali

#### Secretária-executiva

Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

#### Membros

Adônis Moreira, Clara Beatriz Hoffmann-Campo, Claudine Dinali Santos Seixas, Claudio Guilherme Portela de Carvalho, Fernando Augusto Henning, Leandro Eugênio Cardamone Diniz, Liliane Márcia Mertz-Henning, Maria Cristina Neves de Oliveira

#### Edição executiva

Vanessa Fuzinato Dall'Agnol

#### Revisão de texto

Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

#### Normalização

Valéria de Fátima Cardoso (CRB- 9/1188)

#### Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

#### Diagramação

Marisa Yuri Horikawa  
Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

water retention capacity and hinders the establishment of the desired plant population. Thus, could the establishment of an adequate soybean cultivar population in a Petric Plinthosol differ from that in an Oxisol? Another question is whether a Petric Plinthosol could support higher soybean plant populations without these plants suffering greater environmental impacts? In this study, responses of two soybean cultivars grown in populations ranging from 120,000 to 560,000 plants per hectare were observed in Oxisol and Petric Plinthosol over two crop seasons in the state of Tocantins. According to the observed results, it is evident that soybean plant populations can be managed in Petric Plinthosols to increase yield with sustainability.

**Index terms:** MATOPIBA, gravel, drought, stand.

## Introdução

A soja tem sido a principal cultura agrícola desenvolvida no Brasil Central, sendo largamente utilizada como fonte de óleo e proteína vegetal, ou mesmo exportada na forma de grãos (Hirakuri et al., 2018). Embalados por esta demanda, muitos empreendimentos agrícolas incorporaram terras que antes eram deixadas à margem do processo produtivo devido às limitações físicas e químicas. Neste contexto, solos com baixa aptidão agrícola, como os Plintossolos Pétricos (Lumbreras et al., 2015), têm sido cultivados em diferentes regiões do Brasil e, especialmente, no estado do Tocantins (Campos et al., 2019, 2022). Entretanto, a grande maioria dos cultivos anuais em Plintossolos Pétricos ocorre sem o respaldo de um portfólio tecnológico adequado e sustentável para esta condição (Almeida et al., 2023a), fazendo com que ocorram instabilidades produtivas e menor resiliência frente à seca ou veranicos (Evangelista et al., 2022). Contudo, apesar das dificuldades, o cultivo de soja em Plintossolos Pétricos tem ganhado destaque no Brasil Central, proporcionando produtividades entre 2.700 a 4.200 kg ha<sup>-1</sup> (Campos et al., 2022).

Os Plintossolos Pétricos são caracterizados pela baixa fertilidade natural e pela presença marcante de um horizonte litoplântico ou concrecionário (Almeida et al., 2024). A elevada granulometria do solo restringe a mecanização e a capacidade de retenção de água nos horizontes superficiais. Entretanto, quando existem horizontes com baixa permeabilidade, como o litoplântico, ou mesmo um horizonte plântico abaixo do concrecionário, próximos à superfície do solo, pode ocorrer um alagamento das áreas (Lumbreras et al., 2015; Santos et al., 2018).

O estande de plantas de soja cultivadas em Plintossolos Pétricos é menor quando se compara à formação em Latossolos (Almeida et al., 2023b), a qual pode estar associada à menor capacidade de retenção de água dos Plintossolos Pétricos e a menor superfície de contato entre solo e semente (Lumbreras et al., 2015; Santos et al., 2018).

As densidades de semeadura da soja têm sido trabalhadas por produtores e técnicos visando aumento de produtividade e eficiência de uso dos recursos naturais do local de cultivo (Balbinot Junior et al., 2018; Ferreira et al., 2020). No entanto, estes estudos se concentram em um ambiente com elevada oferta ambiental, e sem cultivares com tolerância diferencial à seca.

Trabalhos desenvolvidos em solos sem cascalho, mostram que aumentos de densidade na população de soja podem trazer efeitos benéficos à produtividade (Xu et al., 2021a, 2021b), enquanto outros estudos (Board, 2000; Tourino et al., 2002) não registraram diferenças significativas de produtividade com variações na população de plantas de soja. Já Watanabe et al. (2005) verificaram maior produtividade de soja em menores densidades (população de 200 mil plantas ha<sup>-1</sup> quando comparada à densidade de 400 mil plantas ha<sup>-1</sup>).

De acordo com Carciocchi et al. (2019) em ambientes com maior oferta ambiental (produtividade acima de 4.300 kg ha<sup>-1</sup>) a densidade agrônômica ótima das plantas de soja foi 24 % menor que em ambientes com menor oferta ambiental (produtividades abaixo de 4.000 kg ha<sup>-1</sup>).

Um dos principais desafios para o cultivo de soja nestes ambientes é a formação de um estande adequado, o que pode trazer ganhos expressivos em produtividade. Entretanto, ainda são incipientes as informações acerca de populações abaixo ou acima do recomendado, nos Plintossolos Pétricos. Questiona-se se as respostas da soja às variações de estande nos Plintossolos Pétricos seriam proporcionais ou mais intensas que as respostas às variações de estande no Latossolo.

Neste contexto, questiona-se como a competição intraespecífica das plantas de soja em Plintossolos Pétricos (com menor oferta ambiental, principalmente disponibilidade de água) poderia ser influenciada pelo tipo de ambiente em que a cultura se desenvolve, fato que pode alterar as respostas associadas ao adensamento de plantas de soja. Portanto, se um Plintossolo Pétrico apresenta menor potencial, ou oferta ambiental, a densidade ótima deveria ser maior do que no Latossolo em que proporção? E ainda, se um solo apresentar menor disponibilidade de água que outro, maiores

populações poderiam ser prejudiciais à produtividade, pois poderiam retirar com maior rapidez a água dos solos?

Assim, este trabalho propõe determinar um manejo mais adequado ao cultivo de soja em Plintossolos Pétricos a partir da compreensão de como ajustar a taxa de semeadura nesse tipo de solo em comparação a um Latossolo.

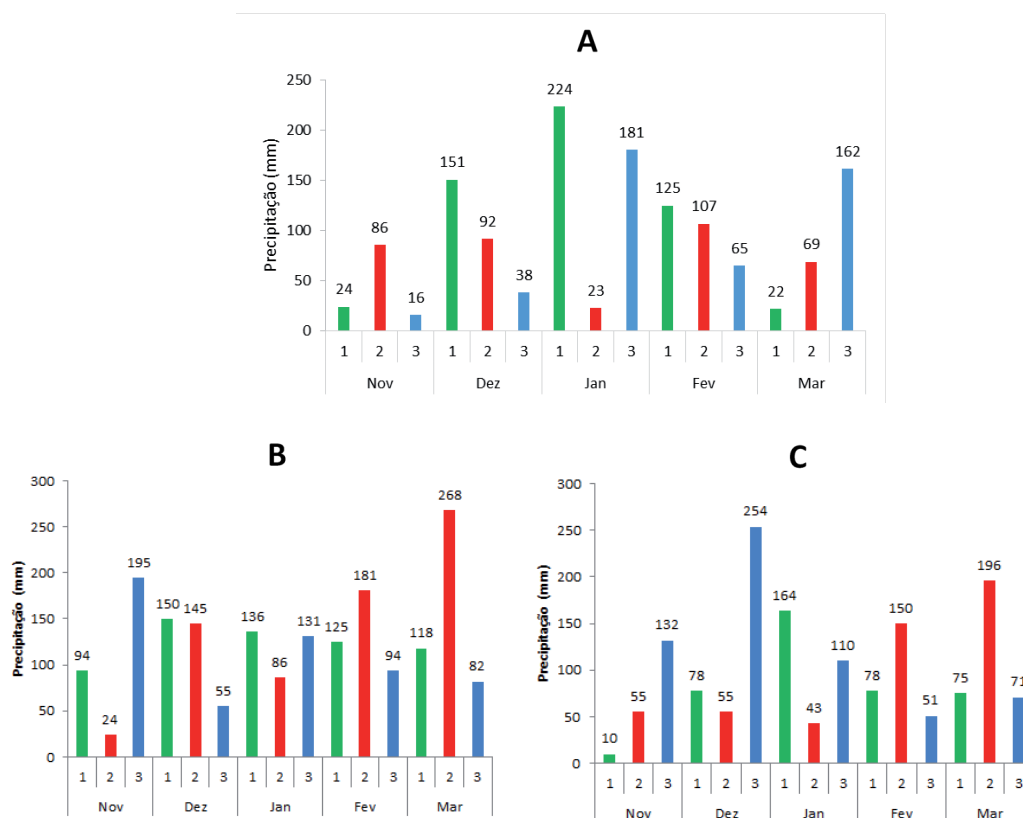
## Materiais e Métodos

Na safra 2019/2020 foi realizado um experimento de densidade de semeadura, em áreas de Latossolo e Plintossolo Pétrico, na Fazenda Invernadinha do Tocantins ( $10^{\circ}11'16.1''$  S,  $48^{\circ}40'55.9''$  W e 386 m de altitude), localizada no município de Paraíso

do Tocantins/TO. Os tipos de solos se distanciavam 360 m entre si, sendo classificados como Latossolo Vermelho distrófico e Plintossolo Pétrico concrecionário (Santos et al., 2018).

Na safra 2022/2023 foi repetido o experimento com densidades de semeadura em Latossolo na Fazenda Invernadinha do Tocantins (FIT), porém, a semeadura em Plintossolo Pétrico ocorreu na Fazenda Gaivota (FG) em Pium/TO, coordenadas  $10^{\circ}13'01.4''$  S,  $49^{\circ}15'06.6''$  W e altitude de 249 m.

A precipitação foi medida durante todos os experimentos (Figura 1). O clima local é caracterizado como Aw, tropical com estação seca no inverno de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, com temperatura média de  $26,6^{\circ}\text{C}$  e 1.909 mm de precipitação anual.



**Figura 1.** Precipitação acumulada a cada 10 dias (barras verdes, vermelhas e azuis representam o primeiro, segundo e terceiro decêndios de cada mês), obtidas na Fazenda Invernadinha do Tocantins- FIT, safra 2019/2020 (A), e na safra 2022/2023 (B); e na Fazenda Gaivota – FG (C). Todos os dados foram obtidos nas estações meteorológicas instaladas nas áreas experimentais.

Os experimentos foram instalados em delineamento experimental de blocos casualizados, em esquema fatorial duplo em cada solo, visando uma análise conjunta de experimento fatorial (fator cultivar e fator população), com quatro repetições.

A análise textural dos solos da FIT aponta a proporção de 98, 492 e 410 g kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, respectivamente, para o Latossolo; e de 280, 315 e 405 g kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, respectivamente, para o Plintossolo Pétrico. A porcentagem de cascalho (> 2 mm) por massa de solo (na camada de 0 – 20 cm) foi de 0 % para o Latossolo e de 51 % para o Plintossolo Pétrico. Na FG, o Plintossolo Pétrico foi caracterizado com 75% de cascalho e granulometria

da terra fina em 454, 196 e 350 g kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, respectivamente.

Na safra 2019/2020 na FIT a adubação de semeadura empregou 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em ambos os solos, conforme recomendações técnicas da cultura e análise química do solo (Tabela 1). Em 2022/2023 a adubação foi de 17 kg ha<sup>-1</sup> de N; 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na FIT. A adubação na FG foi de 22 kg ha<sup>-1</sup> de N; 102 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

**Tabela 1.** Análise química dos solos das áreas experimentais, Fazenda Invernadinha do Tocantins- FIT e na Fazenda Gaivota – FG.

| SAFRA     | Área | SOLO   | pH   | acidez<br>poten-<br>cial           | Al                                 | Ca <sup>2+</sup>                   | Mg <sup>2+</sup>                   | K <sup>+</sup>                     | P                   | Cu <sup>2+</sup>    | Fe <sup>2+</sup>    | Mn                  | Zn                  |
|-----------|------|--------|------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|           |      |        |      | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> |
| 2019/2020 | FIT  | Latoss | 6,21 | 3,20                               | 0,00                               | 2,55                               | 1,33                               | 0,08                               | 5,99                | 0,83                | 49,80               | 8,22                | 1,49                |
| 2019/2020 | FIT  | Plinto | 6,87 | 2,80                               | 0,00                               | 2,95                               | 2,02                               | 0,09                               | 5,43                | 0,80                | 41,50               | 6,91                | 1,35                |
| 2022/2023 | FIT  | Latoss | 6,10 | 1,49                               | 0,01                               | 2,22                               | 1,21                               | 0,44                               | 1,60                | 2,87                | 24,60               | 7,30                | 3,60                |
| 2022/2023 | FG   | Plinto | 5,90 | 3,10                               | 0,00                               | 5,88                               | 1,17                               | 0,21                               | 11,90               |                     |                     |                     |                     |

Em todos os experimentos, as sementes foram tratadas com fipronil e Cobalto/Molibdênio nas dosagens comerciais recomendadas (5 e 25 g ha<sup>-1</sup> de cobalto e molibdênio respectivamente). Um inoculante turfoso, à base de *Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium diazoefficiens* (cepas SEMIA 5079 e SEMIA 5080, respectivamente), foi adicionado às sementes (cinco doses por ha), após a adição de solução açucarada a 10 %. As sementes foram tratadas no dia da semeadura.

Na safra 2019/2020 foram utilizadas as cultivares Brasmax Bônus IPRO - 8579 RSF, GMR 7.9 e RK 7518 IPRO, GMR 7.5, ambas com crescimento indeterminado, flor roxa, amplamente cultivadas no Tocantins e semeadas em 21/11/2019. As cultivares BMX Bônus IPRO e RK 7518 IPRO foram classificadas como, respectivamente, moderadamente sensível e moderadamente tolerante à seca (Cabral et al., 2020; Cabral et al., 2021).

Na safra 2022/2023 foi semeada a cultivar BRS-GO 7858 RR, GMR 7.8 (crescimento indeterminado e flor branca) na FIT (semeada em 17/11/2022) e na FG (semeada em 23/11/2022).

A cultivar RK 7518 IPRO apresenta um potencial de ramificação inferior ao da BMX Bônus IPRO, que é uma cultivar com ramificação média. A população de plantas recomendada para cultivar Bônus situa-se entre 240 mil a 280 mil plantas ha<sup>-1</sup>, enquanto

para a RK 7518 é de 380 mil a 400 mil plantas ha<sup>-1</sup>. A população recomendada para a cultivar BRS 7858 na região do experimento é de 320 mil a 240 mil plantas ha<sup>-1</sup>.

As taxas de semeaduras empregadas nos experimentos foram 6, 11, 15 e 19 plantas metro<sup>-1</sup>, em 2019/2020 e 7, 14, 21 e 28 plantas metro<sup>-1</sup>, em 2022/2023. No espaçamento de 0,5 m correspondem a populações de 120 mil, 220 mil, 300 mil e 380 mil plantas ha<sup>-1</sup> e 140 mil, 280 mil, 420 mil e 560 mil plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para garantir o número mínimo de parcelas (4 linhas de 5 m) com distribuição uniforme e população planejada, foram semeadas oito parcelas experimentais por população, para que as que não atendessem tal critério fossem descartadas. Ao final, cada tratamento apresentou quatro repetições, em delineamento de blocos casualizados em cada tipo de solo.

Os tratos culturais (manejo de plantas daninhas, pragas e doenças) foram realizados segundo a necessidade verificada em cada local. A colheita ocorreu quando as cultivares atingiram a maturação plena, quando todas as vagens possuíam coloração amarela e mais 80% de desfolha na planta, escala R8 (Fehr; Caviness, 1977).

Na safra 2019/2020 foram mensurados o índice de área foliar (IAF), a altura da planta e a produtividades de grãos. O IAF foi obtido no florescimento

pleno (R<sup>2</sup>, cerca de 45 dias após a germinação), por meio de um analisador de dossel foliar (modelo LI-COR LAI-2200), em quatro posições de cada parcela.

A altura de plantas foi determinada em 10 plantas por parcela, no momento da colheita, tomando a medida da altura do nível do solo até o ápice da planta, utilizando uma fita métrica. A produtividade de grãos foi determinada em 4 m<sup>2</sup> de cada parcela colhendo-se as plantas manualmente nas duas fileiras centrais. Posteriormente essas plantas foram trilhadas em uma trilhadeira estacionária e os grãos obtidos foram pesados, a umidade determinada em um medidor automático de umidade de grãos portátil G610i Gehaka, e os valores foram corrigidos para 13 % de umidade a fim de expressar a produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>).

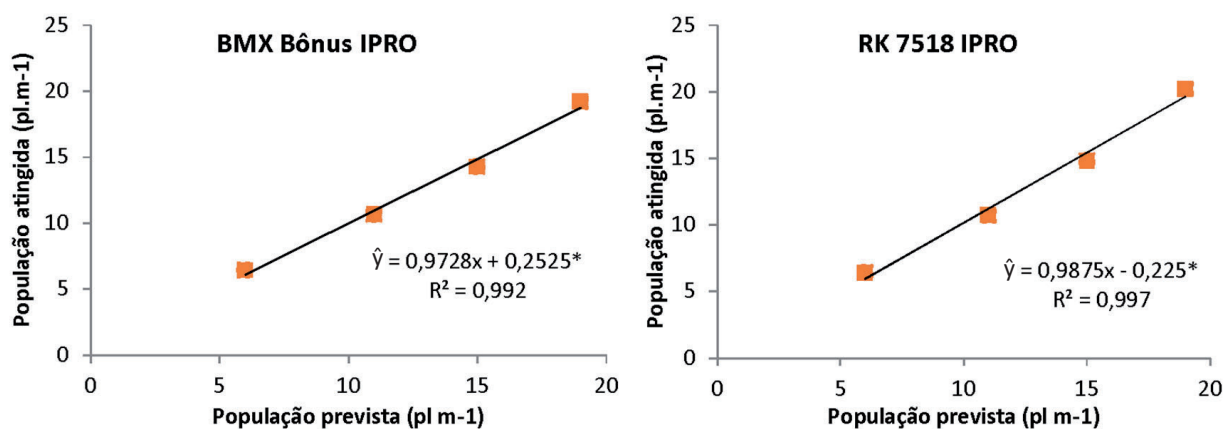
Na safra 2022/2023, além da altura, do IAF e da produtividade, foram estimadas também mais cinco variáveis, o número de vagens por planta (NV), número de nós (NN), o número de galhos (NG), comprimento dos nós (CN) e acamamento (ACA). As primeiras quatro variáveis foram determinadas em 10 plantas coletadas aleatoriamente na parcela, no momento da colheita. O ACA foi determinado pela observação e aplicação de notas de 1 (mais ereto) a 5 (mais prostrada) para cada parcela.

Antes da análise de variância, foram realizados testes de homocedasticidade da variância dos tratamentos, normalidade e independência dos resíduos, aditividade do modelo do delineamento experimental e a esfericidade e de Bartlett para os dados obtidos em todos os experimentos. Atendidas as pressuposições da análise de variância (ANOVA)

foi processada a 5% de significância pelo teste F. As análises foram efetivadas com o software R, versão 4.4.1 (R Core Team, 2024), utilizando os pacotes FactoMineR (Lê et al., 2008), Factoextra (Kassambara; Mundt, 2020) e Factoshiny (Vaissie et al., 2021).

## Resultados e Discussão

Não foram detectadas reduções significativas nos estandes planejados. As parcelas com as populações programadas foram alcançadas nos dois tipos de solo, sendo obtidas quatro populações uniformes que diferiram entre si conforme previsto para as diferentes densidades de semeadura (Figura 2). Não houve influência do tipo de solo na formação dos estandes planejados, tanto para a cultivar BMX Bônus IPRO quanto para a cultivar RK 7518 IPRO (Figura 2), e nem para a cultivar BRS 7858 RR. Apesar da reduzida precipitação do terceiro decêndio de novembro/2019 (16 mm, Figura 1A), não houve falta de água para as sementes semeadas no dia 21/11/2019, que foram beneficiadas pelas chuvas no segundo decêndio. Da mesma forma, a cultivar semeada na safra 2022/2023 não apresentou problemas na formação de seu estande de plantas devido a boa distribuição da chuva em novembro de 2022 (Figura 1B e 1C). Assim, as densidades de plantas planejadas foram alcançadas nos dois tipos de solo para todas as cultivares, não evidenciando interferência do tipo de solo na emergência de plântulas, nas duas safras estudadas.

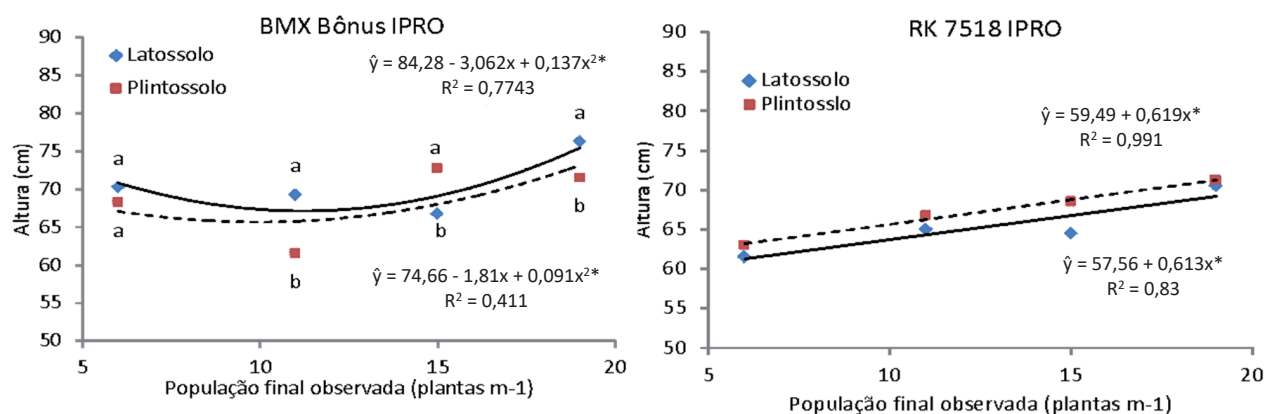


**Figura 2.** População final média de plantas de soja por metro linear (plantas m<sup>-1</sup>), de duas cultivares (BMX Bônus IPRO; RK 7518 IPRO), semeadas em Latossolo e Plintossolo Pétrico, em Paraíso do Tocantins/TO, safra 2019/2020. \* Significante com  $p \leq 0,05\%$ . CV = 11,91%; RK = 9,14%.



Entretanto, em anos mais secos, a menor retenção de água nos Plintossolos Pétricos pode sim reduzir os estandes programados (dado não apresentado, mas observado pelos autores em outras safras do estado do Tocantins). A quantidade de cascalho presente nos Plintossolos Pétricos confere a estas características físicas que reduzem a quantidade de água retida nos horizontes superficiais (Nikkel; Lima, 2019a). Tais características implicam em redução da superfície de contato entre as sementes e o solo. Com isso, em condições de sequeiro pode haver redução do estande de plantas neste tipo de solo. Trabalhando com milho, Rodrigues et al. (2015) observaram redução do estande de plantas em Plintossolos Pétricos.

As respostas de altura de plantas foram diferentes para cada cultivar. Enquanto, a cultivar BMX Bônus IPRO (considerada mais sensível à seca) apresentou altura superior em Latossolo em comparação ao Plintossolo, enquanto a cultivar RK 7518 IPRO (mais tolerante) não mostrou alteração em sua altura em resposta aos tipos de solo. A BMX Bônus IPRO apresentou uma resposta quadrática positiva entre a densidade populacional e os tipos de solo, e a cultivar RK 7518 IPRO mostrou uma elevação linear na altura obtida em diferentes populações (Figura 3).

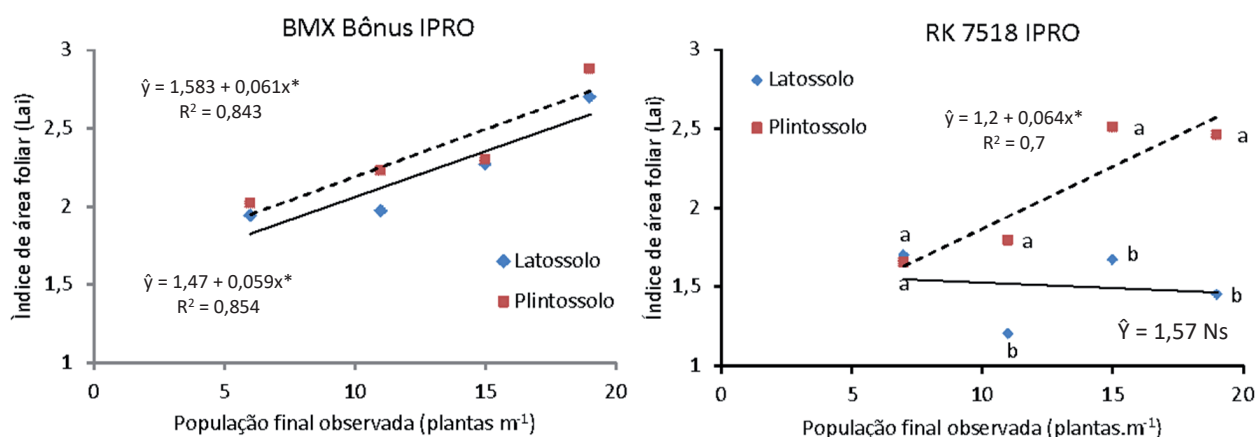


**Figura 3.** Altura de plantas da cultivar BMX Bônus IPRO e RK 7518 IPRO, em Latossolo e Plintossolo Pétrico, com diferentes populações (6, 11, 15 e 19 plantas por metro linear). Médias seguidas pela mesma letra, em uma mesma população de plantas, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, a  $p \leq 0,05\%$ , CV (%) = 4,74. \* regressão significativa a  $p \leq 0,05\%$ .

A altura é considerada um componente importante na composição da parte aérea e na produtividade da soja, que é controlada por fatores genéticos e ambientais (Yang et al., 2021). Devido à granulometria do Plintossolo Pétrico, com grande quantidade de concreções (cascalhos de petroplintita), espera-se uma menor capacidade de retenção de água (Nikkel; Lima, 2019a) durante o ciclo. Gava et al. (2015) observaram uma redução da altura das plantas de soja devido à restrição hídrica. Assim, a cultivar mais sensível à seca, BMX Bônus IPRO, parece ser impactada pelo tipo de solo, reduzindo seu crescimento em Plintossolo Pétrico, enquanto a cultivar mais tolerante à seca, RK 7518 IPRO, mantém sua altura nos dois solos estudados.

As maiores alturas foram encontradas nas maiores populações (Figura 3), corroborando o trabalho de Yang et al. (2021), que mostraram que em ambientes mais sombreados (ou onde existe maior competição por luz, como em maiores populações) existe efeito positivo no crescimento da haste principal em detrimento às gemas laterais.

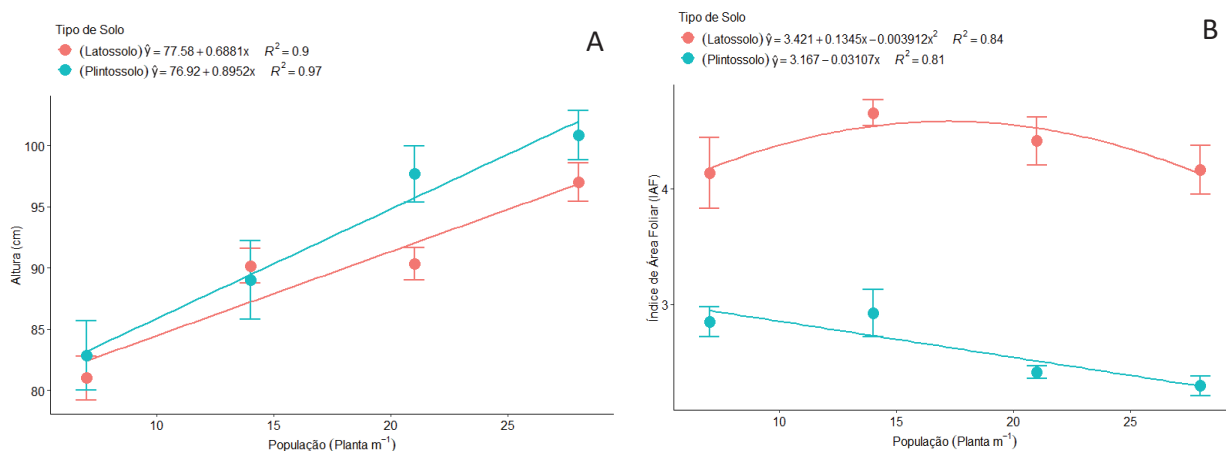
O IAF foi verificado quando as cultivares se encontravam em R1/R2, sendo semelhante ao obtido por outros autores (Evangelista et al., 2019). Em relação a cultivar BMX Bônus IPRO, os IAFs não foram alterados pelo tipo de solo (Figura 4). Nessa cultivar, houve correlação positiva entre as populações de plantas desta cultivar e o IAF, tanto no Latossolo quanto no Plintossolo Pétrico (Figura 4). Na cultivar RK 7518 IPRO houve interação entre o tipo de solo e a população de plantas para o IAF. No Plintossolo Pétrico, o aumento do IAF foi proporcional ao aumento da população, o que não ocorreu no Latossolo (Figura 4). Comparando-se as médias de IAF desta cultivar nos dois tipos de solo, nota-se um maior IAF nas maiores populações do Plintossolo Pétrico, com exceção do da população de seis plantas por metro linear, que foi igual nos dois tipos de solo (Figura 4). Para esta cultivar não houve aumento da área foliar com a população no Latossolo (Figura 4).



**Figura 4.** Índice de área foliar (IAF) da cultivar BMX Bônus IPRO e RK 7518 IPRO, em Latossolo e Plintossolo Pétrico, com diferentes populações (6, 11, 15 e 19 plantas m<sup>-1</sup>). \* Regressão significativa a  $p \leq 0,05\%$ . Médias seguidas com a mesma letra (minúscula entre tipos de solo em uma mesma população) não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (Scott; Knott, 1974), a  $p \leq 0,05\%$ , CV (%) = 13,34.

Na cultivar BRS 7858 RR houve um crescimento em altura linear em resposta às populações, tanto em Latossolo como em Plintossolo Pétrico (Figura 5A). Além disso, houve um comportamento distinto nos dois tipos de solo (Figura 5B), onde o IAF

no Latossolo foi sempre maior que o do Plintossolo Pétrico. Nesta cultivar, o aumento de população reduziu o IAF no Plintossolo Pétrico, apontando uma menor plasticidade da planta neste ambiente (Figura 5B).



**Figura 5.** Altura de planta (A) e Índice de área foliar (B) da cultivar BRS 7858 RR, em Latossolo (FIT) e Plintossolo Pétrico (FG), com populações de 7, 14, 21 e 28 plantas m<sup>-1</sup>. Regressões foram significativas a  $p \leq 0,05\%$ . Barras nas médias indicam o erro padrão da média, CV (%) = 5,81 e 12,45, respectivamente.

Assim como verificado por Nikkel e Lima (2019b) em plantas de milho, a área foliar da cultivar de soja BMX Bônus IPRO não foi alterada em função do tipo de solo, mas aumentou com a densidade populacional (Figura 4). Todavia, para a cultivar RK 7518 IPRO houve interação entre tipo de solo e população de plantas em relação ao IAF (Figura 4), assim como para a cultivar BRS 7858 (Figura 5B), o que denota uma resposta diferenciada das plantas de acordo com a cultivar, exigindo um acompanhamento mais detalhado para compreensão das respostas de IAF x ambiente. Portanto, plantas que apresentam um

potencial de ramificação maior, como a cultivar BMX Bônus IPRO, parecem ser mais capazes de compensar as variações de IAF que plantas com menor capacidade de ramificação, como a RK 7518 IPRO e a BRS 7858 RR.

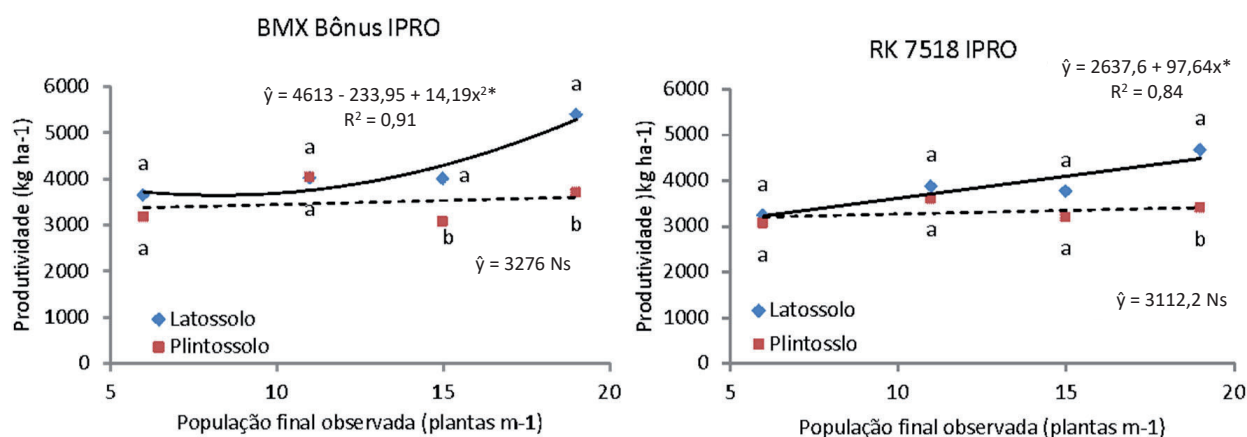
Sabe-se que o crescimento e desenvolvimento das plantas de soja em diferentes populações tende a ser variável, devido a inter-relação entre ambiente e plasticidade fenotípica de cada cultivar (Carciocchi et al., 2019). Neste sentido, a cultivar BMX Bônus IPRO mostra uma plasticidade fenotípica menor que a RK 7518 IPRO, fazendo com que o IAF da Bônus

se mantivesse mais estável do que o verificado na cultivar RK7518 e na BRS 7858. Outros autores também mostram que cultivares de soja distintos podem apresentar respostas diferentes em relação ao IAF (Ferreira et al., 2020). Além disso, a cobertura (palhada) e o conteúdo de água disponível no solo também podem influenciar diretamente a área foliar (Anjos et al., 2017). A restrição do IAF pode ser um indicador de estresse por seca (Holshouser; Whittaker, 2002), o que pode ter ocorrido na área FG, em resposta a um período de menor precipitação, como no mês de dezembro (Figura 1C), além do fato do Plintossolo Pétrico da FG ter maior conteúdo de cascalho do que o da FIT.

Em relação a produtividade, boa parte de sua formação é relacionada ao desenvolvimento da cobertura foliar, altura e interceptação da luz, a qual também se relaciona à densidade de plantas. Entretanto, foi verificado que pequenas alterações de

população normalmente não se traduzem em grandes modificações na produtividade (Procópio et al., 2013; Pereira et al., 2021). Contudo, variações populacionais aliadas a ambientes com restrição de água podem trazer modificações significativas na produtividade, alterando as respostas destas plantas aos níveis populacionais testados em ambientes com maior potencial produtivo, como os Latossolos (Ferreira et al., 2020).

Em 2019/2020, o aumento na população de plantas resultou em aumento da produtividade somente no Latossolo, para ambas as variedades (Figura 6). As maiores produtividades foram notadas no Latossolo, na maior população (19 plantas  $m^{-1}$ ; Figura 6). Enquanto na safra 2022/2023 foi possível notar um ganho de produtividade da soja no Plintossolo Pétrico quando se elevaram as populações da cultivar BRS 7858 RR neste solo (Figura 7F).



**Figura 6.** Produtividade da cultivar BMX Bônus IPRO e RK 7518 IPRO, cultivada em Latossolo e Plintossolo Pétrico, e com populações de 6, 11, 15 e 19 plantas  $m^{-1}$ . Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott dentro do mesmo nível populacional, a  $p \leq 0,05\%$ , CV (%) = 11,06.

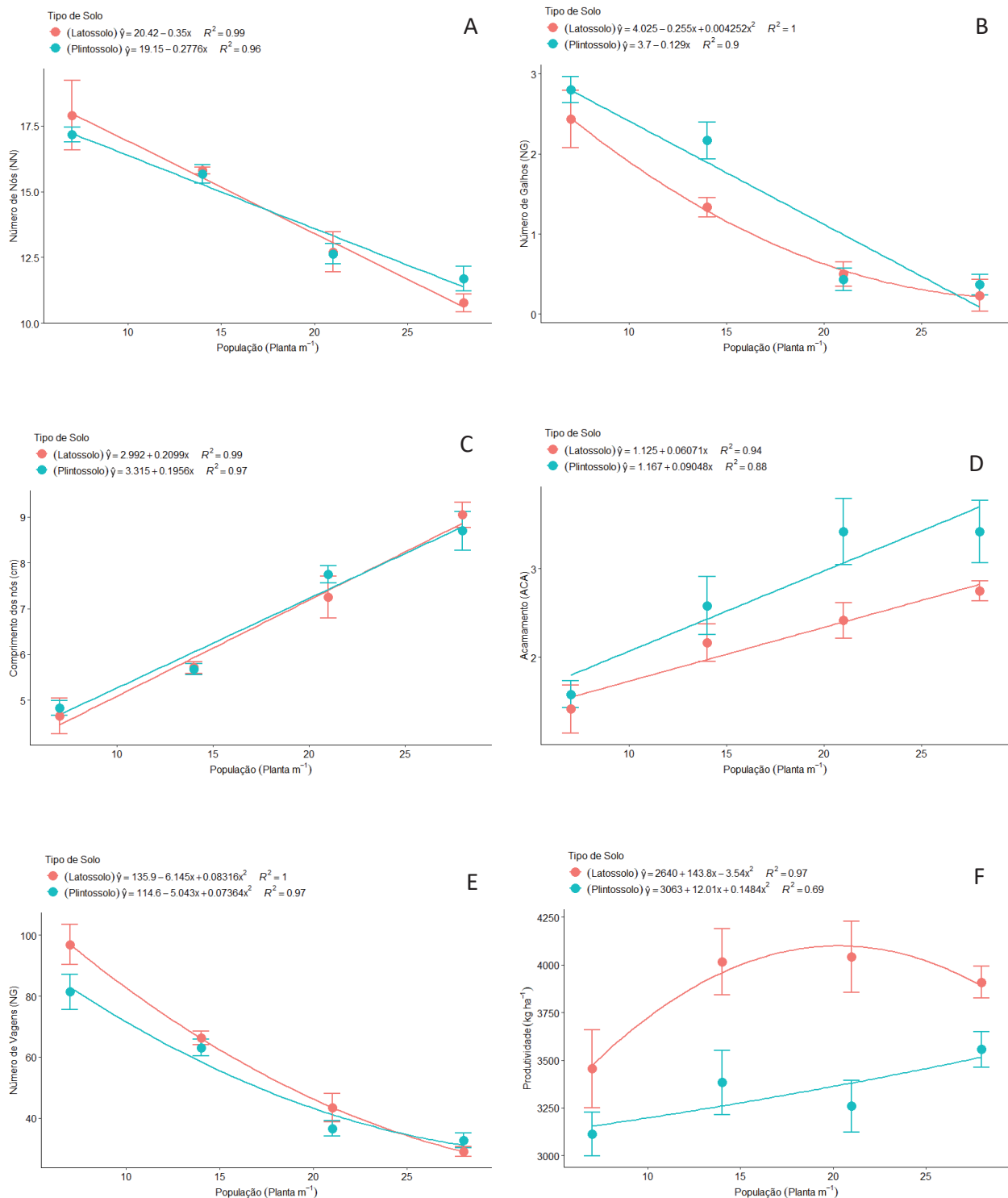
Comparando-se a produtividade de cada população nos dois tipos de solo, observa-se uma diferença de resposta nas populações de 15 e 19 plantas  $m^{-1}$  para a BMX Bônus IPRO, e na população de 19 plantas  $m^{-1}$  para a cultivar RK 7518 IPRO (Figura 6). Na cultivar BRS 7858 RR a produtividade foi maior no Latossolo a partir do estande de 14 plantas  $m^{-1}$ . No Latossolo as melhores produtividades foram obtidas em 14 e 21 plantas  $m^{-1}$ , enquanto no Plintossolo Pétrico a maior produtividade foi obtida em população de 28 plantas  $m^{-1}$  (Figura 7F).

De modo geral, aumentos nas populações são acompanhadas de aumento de produtividade, até o ponto em que ocorre uma estabilização. Este ponto, também conhecido como densidade ótima de plantas, é dependente do ambiente de cultivo (Corassa et al., 2018; Carciocchi et al., 2019). Assim, ambientes

com melhor disponibilidade de recursos necessitam de populações menores para atingir o máximo de produtividade. Os dados deste trabalho mostram que acréscimos no estande de plantas (até 400 mil plantas  $ha^{-1}$ ) poderiam trazer ganhos de produtividade em Latossolo (Figura 6) e Plintossolo Pétrico (Figura 7F). Contudo, Ferreira et al. (2020) mostraram que elevações de taxa de semeadura só deixariam de trazer ganhos de produtividade quando estas taxas forem maiores que 35 % da taxa de semeadura recomendada, dependendo ainda da cultivar.

O Latossolo, quando comparado ao Plintossolo Pétrico, é caracterizado como um ambiente mais favorável ao desenvolvimento das plantas (Campos et al., 2019; Ramos, 2022; Marquardt et al., 2023), apresentando um maior potencial de ganho de produtividade com a elevação da população.





**Figura 7.** Número de nós (A), número de galhos (B), comprimento dos nós (C), acamamento (D), número de vagens (E) e produtividade (F), da cultivar BRS 7858 RR, semeadas em Latossolo (FIT) e Plintossolo Pétrico (FG), com populações de 7, 14, 21 e 28 plantas  $m^{-1}$ . Regressões foram significativas a  $p \leq 0,05\%$ . Barras nas médias indicam o erro padrão da média, CV (%) = 10,24; 37,24; 10,33; 27,31; 17,92 e 9,68; respectivamente.

Plintossolos Pétricos mostram grande quantidade de cascalho em sua composição, o que confere a este solo uma menor retenção de água (Costa et al., 2023). Neste trabalho foi possível notar a ocorrência de maiores produtividades no Latossolo (Figuras 6 e 7F), principalmente em populações mais adensadas. No entanto, observa-se boas produtividades em Plintossolo Pétrico e, por vezes, produtividades semelhantes à do Latossolo (Figura 6). Portanto, o Plintossolo Pétrico, por ser um ambiente menos favorável ao crescimento das culturas, não mostrou ganhos com elevações nas populações de soja. Neste contexto, aumento de população de plantas em Plintossolos Pétrico pode não significar ganho de produtividade (Figura 6).

O NN, NG e NV decresceram com o aumento das populações, enquanto o ACA e o CN mostraram um comportamento inverso (Figura 7). Trabalhando com soja, Xu et al. (2021b) também observaram relação inversa entre a população e o número de vagens. Este fato ocorre provavelmente pela maior restrição de luz em ambientes com população mais adensada.

Não houve influência do tipo de solos no NN, no CN e no NV. Comparado a soja cultivada em Latossolo, no Plintossolo Pétrico o NG foi maior na população de 15 plantas  $m^{-1}$ . O acamamento de plantas de soja foi maior no Plintossolo Pétrico do que em Latossolo, nas maiores populações, que estimulam o estiolamento das plantas (Figura 7).

Alguns estudos têm associado a presença de petroplintitas (material com granulometria acima de 3,1 mm) com respostas negativas no crescimento de algodão (Nikkel; Lima, 2020), milho (Nikkel; Lima, 2019b) e soja (Nikkel; Lima, 2019a). Entretanto, mesmo com cerca de 50% de cascalho (material com granulometria acima de 2 mm) no Plintossolo Pétrico da FIT, e 75% no da FG, essa situação não foi observada neste trabalho.

A cultivar RK 7518 IPRO foi classificada por Cabral et al. (2020, 2021) como medianamente tolerante à seca enquanto a cultivar BMX Bônus IPRO foi caracterizada como medianamente suscetível. Esta diferença pode implicar em respostas diferentes destas cultivares em Plintossolos Pétricos, já que a quantidade de água disponível nestes locais é menor que em ambientes com Latossolo.

Assim a cultivar mais sensível à seca (Bônus) apresentou diferença de produtividade a partir de 15 plantas  $m^{-1}$ , enquanto a cultivar mais tolerante (RK 7518 IPRO) só indicou diferenças de produtividade na maior população testada (Figura 6). Holshouser e Whittaker (2002) mostraram que sob baixos níveis de estresse hídrico, a variação na população de

plantas não influenciou a produtividade. Entretanto, em condições mais severas de seca, em que a água se torna o fator limitante ao crescimento, pode haver uma redução na transpiração e condutância estomática de populações mais altas e, com isso, prejudicar a fotossíntese e reduzir a produtividade.

É necessário destacar que não houve restrição hídrica intensa durante todo o período experimental (Figura 1). Entretanto, a ocorrência de seca por período prolongado na soja poderia gerar uma maior competição intraespecífica por água em altas populações, resultando em uma precoce queda na condutância estomática, na fotossíntese e, consequentemente, na produtividade.

Solos arenosos têm potencial produtivo menor que solos argilosos (cerca de 10 %), entretanto, quando manejados com tecnologia adequada, atingem níveis de produtividade semelhantes (Sediya-ma et al., 2016). Este fato também pode ser extrapolado para os Plintossolos Pétricos. Trabalhando em uma área bem manejada, Almeida et al. (2023a) não observaram diferenças de produtividade de soja em Latossolo e Plintossolo Pétrico. Além disso, Campos et al. (2024) trabalhando com cultivares de soja em Latossolo e Plintossolo Pétrico, mostraram que a produtividade foi dependente da cultivar utilizada, encontrando por vezes cultivares com produtividades maiores em Plintossolo Pétrico quando comparado ao Latossolo.

Entende-se que este comportamento distinto nos dois tipos de solo é resultado de interações favoráveis (maior conteúdo de água disponível no solo, ausência de barreiras físicas com concreções e cascalhos, entre outros) no Latossolo e menos favoráveis no Plintossolo Pétrico. Ou seja, em ambientes com maior disponibilidade hídrica, a elevação de população pode trazer ganhos de produtividade.

## Conclusão

Há variação de resposta entre cultivares em Latossolos e Plintossolos Pétricos. Maiores densidades populacionais trouxeram ganhos de produtividade no Latossolo, denotando haver uma maior oferta ambiental neste solo, que foi explorada pela maior densidade de semeadura. No Plintossolo Pétrico, somente a cultivar BRS 7858 RR, plantada na safra 2022/2023 mostrou ganho em produtividade com o aumento da população. Em 2019/2020, embora a produtividade não seja acrescida com o aumento do estande de plantas em Plintossolos Pétrico, esse aumento assegurou a maior área foliar e altura de plantas.

Portanto, o cultivo da soja no Plintossolo Pétrico pode apresentar maiores ganhos de produtividade, buscando outras formas de manejo como elevação da matéria orgânica no solo e manutenção da palhada. Desse modo, o manejo do solo e da cultura, buscando elevar a retenção de água e a oferta de nutrientes nesses solos, podem trazer ganhos de produtividade no Plintossolo Pétrico, pois podem gerar uma melhor oferta ambiental possibilitando um acréscimo de produtividade pelo aumento de densidade de plantas no Plintossolo Pétrico. Diferentes cultivares também devem ser estudadas em Plintossolo Pétrico, pois mostram respostas diferenciadas quando cultivadas neste ambiente.

## Agradecimentos

Os autores agradecem FINEP/CT- AGRO/FN-DCT (Acordo de Cooperação n. 01.22.0080.00, ref. 1219/21) pelo suporte financeiro.

## Referências

- ALMEIDA, R. E. M. de; CUSTODIO, D. P.; OLIVEIRA, S. M. de; LIMA, L. S.; COSTA, R. V. da; CAMPOS, L. J. M. Recommendation of soil fertilization with copper and zinc for soybean crops grown in Petric Plinthosol. **Ciência Rural**, v. 53, n. 4, e20210722, 2023a. DOI: 10.1590/0103-8478cr20210722.
- ALMEIDA, R. E. M. de; DIAS, T. S. dos S.; UHLMANN, A.; RAMOS, M. R.; EVANGELISTA, B. A.; COSTA, R. V. da; SIMON, J.; VIDAL-TORRADO, P. Uso agrícola dos Plintossolos Pétricos do oeste do estado de Tocantins. In: SANTOS, G. G.; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, R. E. M. de; MADARI, B. E. (ed.). **Guia de campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Goiás e Tocantins**. Brasília, DF: Embrapa, 2023b. E-book. cap. 6.
- ALMEIDA, R. E. M. de; SOUZA, H. A. de; EVANGELISTA, B. A.; UHLMANN, A.; RAMOS, M. R.; SAGRILO, E.; DIAS, T. S. dos S.; OLIVEIRA, L. R. de S. P.; COSTA, N. R. Challenges to managing soil health in the newest agricultural frontier in Brazil. In: MENDES, I. de C.; CHERUBIN, M. R. (ed.). **Soil health and sustainable agriculture in Brazil**. Hoboken: SSSA: Wiley, 2024. p. 327-374. (Soil health series, v. 3). DOI:10.1002/9780891187448.ch11.
- ANJOS, J. C. R. dos; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A.; NOLETO, D. H.; MELO, F. de B.; BRITO, R. R. de. Water storage in a Plinthaqualf cultivated with sugarcane under straw levels. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 6, p. 464-473, 2017. DOI: 10.1590/S0100-204X2017000600010.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; OLIVEIRA, M. C. N. de; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; ZUCARELI, C.; FERREIRA, A. S.; WERNER, F. Phenotypic plasticity in a soybean cultivar with indeterminate growth type. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 9, p. 1038-1044, 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X2018000900007.
- BOARD, J. Light interception efficiency and light quality affect yield compensation of soybean at low plant populations. **Crop Science**, v. 40, n. 5, 1285-1294, 2000. DOI: 10.2135/cropsci2000.4051285x.
- CABRAL, R. do C.; MAEKAWA, S. C. E.; ZUFFO, A. M.; STEINER, F. Índices de seleção para identificar cultivares de soja tolerantes à seca. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, e259973812, 2020. DOI:10.33448/rsd-v9i7.3812.
- CABRAL, R. do C.; ZUFFO, A. M.; MAEKAWA, S. C. E.; SILVA, K. C. da, Steiner, F. Identificação de cultivares de soja para tolerância aos estresses hídrico e salino durante a fase de estabelecimento da plântula. **Revista Em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 4, p. 1-20, 2021. DOI: 10.17765/2176-9168.2022v15n4e9789.
- CAMPOS, L. J. M.; ALMEIDA, R. E. M. de; COSTA, R. V. da; HIROSE, E.; ZITO, R. K.; MELLO FILHO, O. L. de; SANTOS, J. H. W. M. M.; EVARISTO, A. B. Estabilidade produtiva de cultivares de soja em plintossolo do Tocantins. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA, 39., 2024, Londrina. **Resumos expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, 2024. resumo 8, p. 33-35. (Embrapa Soja. Eventos técnicos & científicos, 3).
- CAMPOS, L. J. M.; ALMEIDA, R. E. M. de; EVARISTO, A. B.; EVANGELISTA, B. A.; SANTOS, D.; CUSTODIO, D. P.; TUBIANA, D. de O.; NAOE, A. M. L.; PELUZIO, J. M.; COSTA, R. V. da. **Produtividade de cultivares de soja em Plintossolos e Latossolos do Tocantins**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. (Embrapa Soja. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 28).
- CAMPOS, L. J. M.; COSTA, R. V. da; ALMEIDA, R. E. M. de; EVANGELISTA, B. A.; SIMON, J.; SILVA, K. J. N. da; PEREIRA, A. A.; EVARISTO, A. B. **Produtividade de cultivares de soja em três ambientes do Tocantins**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 18 p. (Embrapa Soja. Boletim de pesquisa & desenvolvimento, 21).
- CARCIOCHI, W. D.; SCHWALBERT, R.; ANDRADE, F. H.; CORASSA, G. M.; CARTER, P.; GASPAR, A. P.; SCHMIDT, J.; CIAMPITTI, I. A. Soybean seed yield response to plant density by yield environment in North America. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 4, p. 1923-1932, 2019. DOI: 10.2134/agronj2018.10.0635.

- CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C.; STRIEDER, M. L.; SCHWALBERT, R.; PIRES, J. L. F.; CARTER, P. R.; CIAMPITTI, I. A. Optimum soybean seeding rates by yield environment in southern Brazil. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 6, p. 2430-2438, 2018. DOI: 10.2134/agronj2018.04.0239.
- COSTA, R. V. da; SOUZA, M. R. de; ALMEIDA, R. E. M. de; COTA, L. V.; SILVA, D. D. da; SILVA, F. R. da. Incidence of charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) in maize hybrids in different environments during off-season. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 22, e1319, 2023. DOI: 10.18512/rbms2023v22e1319.
- EVANGELISTA, B. A.; CAMPOS, L. J. M.; SILVA, F. A. M. da; SIMON, J.; RIBEIRO, I. L.; VALE, T. M. do. Possíveis impactos das mudanças climáticas sobre o zoneamento agrícola de risco climático da cultura da soja no estado do Tocantins. In: COLLICCHIO, E.; ROCHA, H. R. da (org.). **Agricultura e mudanças do clima no estado do Tocantins**: vulnerabilidades, projeções e desenvolvimento. Palmas, TO: EdUFT, 2022. p. 167-184.
- EVANGELISTA, B. A.; VALE, T. M. do; CAMPOS, L. J. M.; RIBEIRO, I. L.; CUADRA, S. V. Estimativa do índice de área foliar da cultura da soja cultivada em área de Cerrado do Tocantins. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 21., 2019, Catalão. **Anais...** Catalão: CBAGRO: UFGO, 2019. p. 1414-1419.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p. (Special Report, 80).
- FERREIRA, A. S.; ZUCARELI, C.; WERNER, F.; FONSECA, I. C. de B.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Minimum optimal seeding rate for indeterminate soybean cultivars grown in the tropics. **Agronomy Journal**, v. 112, p. 2092-2102, 2020. DOI: 10.1002/agj2.20188.
- GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; JOSE, J. V.; FRAGA JUNIOR, E. F.; PERBONI, A. O estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 6, p. 349-359, 2015. DOI: 10.7127/rbai.v9n600368.
- HIRAKURI, M. H.; CONTE, O.; PRANDO, A. M.; CASTRO, C. de; BALBINOT JUNIOR, A. A. (ed.). **Diagnóstico da produção de soja na macrorregião sojícola 5**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 120 p. (Embrapa Soja. Documentos, 405).
- HOLSHOUSER, D. L.; WHITTAKER, J. P. Plant population and row-spacing effects on early soybean production systems in the mid-Atlantic USA. **Agronomy Journal**, v. 94, n. 3, p. 603-611, 2002. DOI: 10.2134/agronj2002.6030.
- KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. **Package 'factoextra'**. 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/factoextra/factoextra.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: An R package for multivariate analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 25, n. 1, p. 1-18, 2008. DOI: 10.18637/jss.v025.i01.
- LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A. de; MOTTA, P. E. F. da; BARROS, A. H. C.; AGLIO, M. L. D.; DART, R. de O.; SILVEIRA, H. L. F. da; QUARTAROLI, C. F.; ALMEIDA, R. E. M. de; FREITAS, P. L. de. **Aptidão agrícola das terras do MATOPIBA**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. 48 p. (Embrapa Solos. Documentos, 179).
- MARQUARDT, L.; RAMOS, M. R.; SANTOS, D. M. A. dos; MARQUARDT, G. Produtividade de cultivares de soja sob diferentes manejos em plintossolo pétrico. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 15, n. 1, p. 199-217, 2023. DOI: 10.55905/cuadv15n1-012.
- NIKKEL, M.; LIMA, S. de O. Crescimento inicial de algodão cultivado em Plintossolo Pétrico Concrecionário. **Energia na Agricultura**, v. 35, n. 3, p. 360-369, 2020. DOI: 10.17224/EnergAgric.2020v35n3p360-369.
- NIKKEL, M.; LIMA, S. de O. Growth and vegetative development of soybean plants in soil type Concretionary Petric Plinthosol. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 18, n. 4, p.351-356, 2019a. DOI: 10.18188/sap.v18i4.22452.
- NIKKEL, M.; LIMA, S. de O. Maize (*Zea mays*) cultivated in Concretionary Petric Plinthosol. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 14, p. 131-140, 2019b. DOI: 10.5539/jas.v11n14p131.
- PEREIRA, A. F.; SILVA, A. G. da; CAMPOS, L. J. M.; SILVA NETO, S. P. da. **Respostas de soja a diferentes arranjos de plantas nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. 38 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 379).
- PROCÓPIO, S. de O.; 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, n. 4, p. 319-325, 2013. DOI: 10.4322/rca.2013.048.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. version 4.4.1. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 5 out. 2024.
- RAMOS, M. R. A review of soybean cultivation on stony soils in Tocantins, Brazil. **International Journal of Science and Research**, v. 11, n. 3, p. 367-371, 2022. DOI: 10.21275/SR22305001852.

RODRIGUES, R. de C.; JESUS, D. R.; PÁDUA JUNIOR, A. L. Características morfológicas e produtividade do milho em diferentes classes de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **O solo e suas múltiplas funções**: anais. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507, 1974. DOI: 10.2307/2529204.

SEDIYAMA, T.; OLIVEIRA, R. de C. T. O.; SEDIYAMA, H. A. A soja. In: SEDIYAMA, T. (ed.). **Produtividade da soja**. Londrina: Mecenias, 2016. p.11-18.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M de; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1071-1077, 2002. DOI: 10.1590/S0100-204X2002000800004.

VAISSIE, P.; MONGE, A.; HUSSON, F. **Package 'Factoshiny'**: perform factorial analysis from 'FactoMineR' with a Shiny Application, version 2.4. 2021.

Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/Factoshiny/Factoshiny.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2025.

WATANABE, R. T.; FIORETTO, R. A.; FONSECA, I. B. da, SEIFERT, A. L.; SANTIAGO, D. C.; CRESTE, J. E.; HARADA, A.; CUCOLOTO, M. Produtividade da cultura de soja em função da densidade populacional e da porcentagem de cátions (Ca, Mg e K) no complexo sortivo do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 4, p. 477-484, 2005.

XU, C.; LI, R.; SONG, W.; WU, T.; SUN, S.; HAN, T.; WU, C. High density and uniform plant distribution improve soybean yield by regulating population uniformity and canopy light interception. **Agronomy**, v. 11, n. 9, 1880, 2021a. DOI: 10.3390/agronomy11091880.

XU, C.; LI, R.; SONG, W.; WU, T.; SUN, S.; HU, S.; HAN, T.; WU, C. Responses of branch number and yield component of soybean cultivars tested in different planting densities. **Agriculture**, v. 11, n. 1, 69, 2021b. DOI: 10.3390/agriculture11010069.

YANG, Q.; LIN, G.; LV, H.; WANG, C.; YANG, Y.; LIAO, H. Environmental and genetic regulation of plant height in soybean. **BMC Plant Biology**, v. 21, n. 1, 63, 2021. DOI: 10.1186/s12870-021-02836-7.