

## EFEITO DO CONSÓRCIO MILHO-BRAQUIÁRIA NA PRODUTIVIDADE DO MILHO E DA SOJA PÓS-MILHO EM PALMAS/TO

Gisele Ribeiro Lima<sup>1</sup>, Dára Beatriz Vieira de Sousa<sup>2</sup>, Natália Cristina Lança<sup>3</sup>, Karolayne Bevane Ribeiro da Cruz<sup>4</sup>, Júlia Stephane Melo Eneas<sup>5</sup>, Clauber Rosanova<sup>6</sup>

### RESUMO:

O consórcio entre milho e espécies forrageiras tem se destacado como estratégia promissora para aumentar a produção de palhada e favorecer a sustentabilidade dos sistemas agrícolas no Cerrado. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do consórcio milho/braquiária na produtividade do milho e da soja pós milho, nas condições edafoclimáticas de Palmas, Tocantins. O experimento foi conduzido em duas faixas contíguas (milho solteiro e milho consorciado), durante a safra 2024/2025. Avaliaram-se massa seca e produtividade do milho e da soja por meio de coletas seriadas ao longo das fenofases, sendo os dados ajustados a modelos logísticos não lineares. As estimativas dos parâmetros foram submetidas a análises de variância de resíduos, modelagem da variância e construção de intervalos de confiança pelos métodos de Wald e bootstrap (5.000 simulações). A produtividade foi comparada por teste T com reamostragem bootstrap. Os resultados mostraram forte sobreposição dos intervalos de confiança entre os sistemas de cultivo, indicando ausência de diferença significativa no acúmulo de biomassa do milho e da soja. Para a produtividade, o milho solteiro apresentou média de 69,36 sc ha<sup>-1</sup> e o consorciado 74,37 sc ha<sup>-1</sup> (p = 0,6976), enquanto a soja apresentou 53,9 sc ha<sup>-1</sup> no monocultivo e 57,67 sc ha<sup>-1</sup> no consórcio (p = 0,3692). Assim, o consórcio não afetou negativamente o desempenho produtivo de nenhuma das culturas e tampouco promoveu ganhos estatisticamente comprovados na soja em sucessão. Conclui-se que, nas condições deste estudo, o milho consorciado com braquiária mostrou-se agronomicamente viável, mantendo produtividade equivalente ao milho solteiro e proporcionando palhada adicional sem prejudicar a cultura subsequente.

**Palavras-chave:** Cerrado; consórcio de culturas; milho safrinha; soja em sucessão.

## EFFECT OF MAIZE-BRACHIARIA INTERCROPPING ON THE PRODUCTIVITY OF MAIZE AND SOYBEAN GROWN IN SUCCESSION IN PALMAS/TO

### ABSTRACT:

Intercropping maize with forage species has emerged as a promising strategy to increase straw production and enhance the sustainability of agricultural systems in the Brazilian Cerrado. This study aimed to evaluate the effect of maize/brachiaria intercropping on the productivity of maize and soybean grown in succession, under the edaphoclimatic conditions of Palmas, Tocantins. The experiment was carried out in two contiguous strips (monocropped maize and intercropped maize) during the 2024/2025 growing season. Dry matter accumulation and crop productivity were assessed through serial samplings across phenological stages, and the data were fitted to nonlinear logistic models. Parameter estimates were subjected to residual variance analysis, variance modeling, and the construction of confidence intervals using Wald and bootstrap methods (5,000 simulations).

<sup>1</sup>Bacharel em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal do Tocantins, *Campus* Palmas; gisele.lima2@estudante.ifto.edu.br, <https://orcid.org/0009-0003-7571-3785>. <sup>2</sup>Bacharel em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal do Tocantins, *Campus* Palmas darabeatriz5440@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4243-9703>. <sup>3</sup>Graduanda em Zootecnia Instituto Federal do Tocantins, *Campus* Palmas; natalia.lanca@estudante.ifto.edu.br; <https://orcid.org/0000-0002-6223-0704>.; <sup>4</sup>Bacharel em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal do Tocantins, *Campus* Palmas spfc-karol@hotmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-0573-670X>.; <sup>5</sup>Bacharel em Agronomia pelo Centro Universitário Católico do Tocantins; [juliameneas@gmail.com](mailto:juliameneas@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3055-7961>.; <sup>6</sup>Docente dos cursos de Zootecnia e Engenharia Agrônoma do Instituto Federal do Tocantins, *Campus* Palmas, clauber@ifto.edu.br, <https://orcid.org/0000-0001-6772-1505>.

Productivity was compared using a t-test with bootstrap resampling. The results showed strong overlap of confidence intervals between cropping systems, indicating no significant differences in biomass accumulation for either maize or soybean. Grain yield averaged 69.36 sc ha<sup>-1</sup> in the sole maize system and 74.37 sc ha<sup>-1</sup> in the intercropped system ( $p = 0.6976$ ), while soybean yield reached 53.9 sc ha<sup>-1</sup> in monoculture and 57.67 sc ha<sup>-1</sup> in succession to intercropped maize ( $p = 0.3692$ ). Thus, intercropping did not negatively affect the productive performance of either crop and did not result in statistically proven yield gains for soybean. It is concluded that, under the conditions of this study, maize intercropped with brachiaria is agronomically viable, maintaining yields equivalent to sole maize and providing additional straw without compromising the subsequent crop.

**Keywords:** Cerrado; crop intercropping; soybean in succession; off-season maize.

## INTRODUÇÃO

A intensificação da agricultura tropical tem exigido a adoção de práticas que conciliem elevados níveis de produtividade com a conservação dos recursos naturais (Fórum Brasileiro da Agricultura Tropical, 2024). No Brasil, a sucessão soja-milho safrinha consolidou-se como o principal arranjo produtivo, destacando-se como base do sistema de produção de grãos. Nesse contexto, o estado do Tocantins figura como um dos protagonistas da expansão agrícola recente, apresentando, na safra 2024/2025, uma área cultivada de aproximadamente 2,4 milhões de hectares, produção de cerca de 9,17 milhões de toneladas de grãos e produtividade média de 3.808 kg ha<sup>-1</sup>, evidenciando crescimento expressivo em relação ao ciclo anterior (CONAB, 2025).

O principal limitante da sucessão soja-milho reside na baixa persistência da palhada. A soja, por sua baixa relação Carbono/Nitrogênio (C/N), deixa o solo desprotegido rapidamente após a colheita, enquanto o milho safrinha, muitas vezes submetido a estresse hídrico, pode não produzir biomassa suficiente para garantir a cobertura do solo até a safra seguinte (Cruz, 2021). Nesse cenário, o consórcio do milho com forrageiras do gênero *Urochloa* (sin. *Brachiaria*) surge como uma estratégia de intensificação sustentável, visando aumentar o aporte de resíduos vegetais e a estabilidade do sistema (Coelho et al., 2023).

Entre as forrageiras, a *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã destaca-se pela alta produção de biomassa, sistema radicular profundo e elevada relação C/N, o que resulta em uma palhada mais duradoura sob condições tropicais. O cultivo simultâneo permite a produção de grãos de milho sem prejuízo à cultura principal, enquanto a forrageira promove a ciclagem de nutrientes e a descompactação biológica do solo, favorecendo o desenvolvimento da cultura sucessora (Kintschev, 2021). Estudos indicam que a soja semeada sobre resíduos de consórcios pode

apresentar ganhos produtivos superiores ao cultivo sobre palhada de milho solteiro (Policarpo et al, 2023).

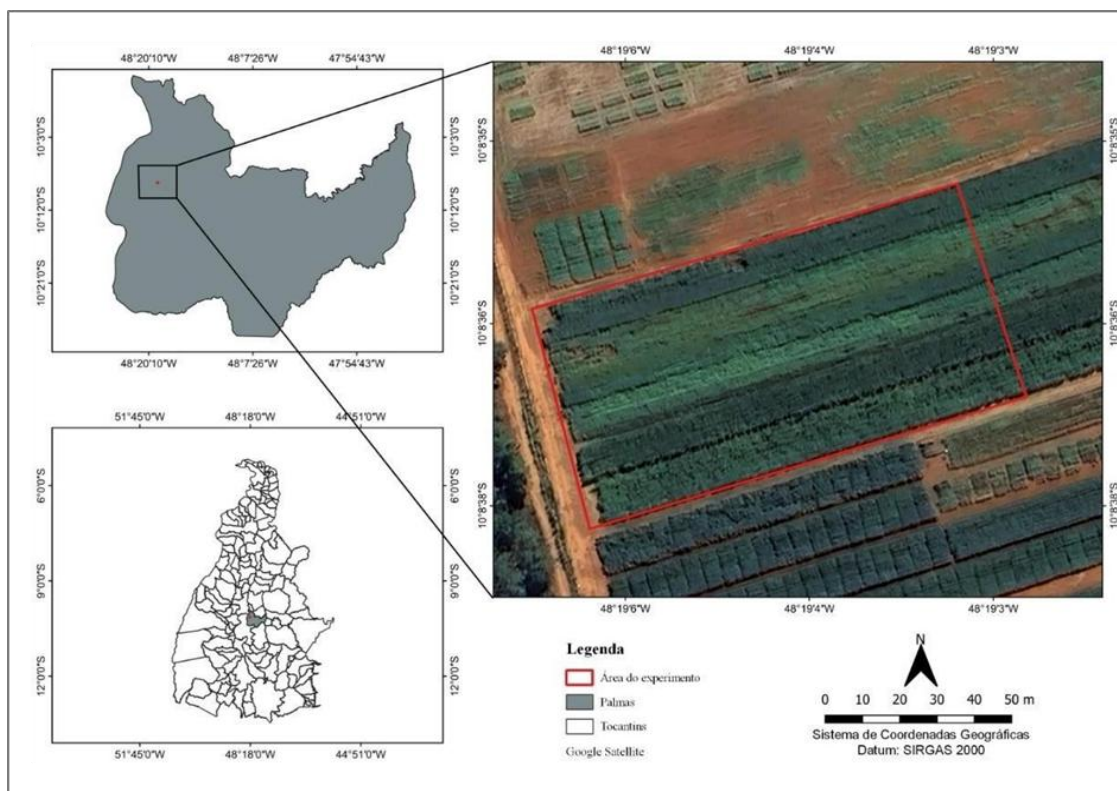
Apesar dos benefícios conhecidos, a eficiência desse sistema em regiões de fronteira agrícola, como o Cerrado tocantinense, demanda estudos específicos que considerem as particularidades edafoclimáticas locais, como as altas taxas de mineralização de nutrientes (Camargo et al., 2024). A compreensão de como o consórcio milho-braquiária influencia o desempenho das culturas ao longo do ciclo é fundamental para validar estratégias de manejo que assegurem a sustentabilidade produtiva em Palmas e região.

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do consórcio milho-braquiária na produtividade do milho e da soja em sucessão, sob as condições edafoclimáticas de Palmas, Tocantins.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Sistemas Agrícolas da Embrapa Pesca, Aquicultura e Sistemas Agrícolas (CESAG/EMBRAPA), localizado no município de Palmas, Tocantins, Brasil, com coordenadas 10°08'35.88"S e 48°19'02.61"W, e altitude média de 262 m (Figura 1). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVd), conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018). O clima da região é classificado como tropical de savana (Aw), caracterizado por duas estações bem definidas: período chuvoso entre outubro e abril, com precipitação anual média aproximada de 1.700 mm, e estação seca de maio a setembro (INMET, 2024).

O milho safrinha foi cultivado entre março e junho de 2024, enquanto a soja em sucessão foi conduzida entre outubro de 2024 e fevereiro de 2025, ambas pertencentes à safra 2024/2025.



**Figura 1.** Área Experimental de Sistemas Agrícolas da Embrapa Pesca, Aquicultura e Sistemas Agrícolas (CESAG/EMBRAPA), localizado no município de Palmas, Tocantins, Brasil

A área total utilizada foi de 0,68 ha, dividida em duas faixas contínuas e adjacentes, cada uma com aproximadamente 0,34 ha. Cada faixa representou um tratamento: T1 – Milho solteiro; e T2 – Milho consorciado com *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã. Dentro de cada faixa foram realizadas oito subamostragens independentes, as quais foram utilizadas como repetições no ajuste das curvas de crescimento. O número de subamostras foi definido com base em recomendações da literatura para experimentos de campo em larga escala, garantindo representatividade da variabilidade espacial e consistência no ajuste dos modelos de crescimento. Essas repetições são caracterizadas como pseudorrepetições, por representarem medições internas de uma mesma unidade experimental. Apesar disso, esse procedimento é adequado para estudos com avaliações sucessivas ao longo do tempo e para o ajuste de 25 modelos não lineares, mesmo sem a independência espacial observada em delineamentos com múltiplas parcelas.

A estratégia adotada neste experimento segue metodologia semelhante à descrita por Lenz et al. (2021), com adaptações relacionadas à escala experimental, à forma de amostragem e à frequência de coletas. Diferentemente do delineamento com

parcelas independentes utilizado por aqueles autores, neste estudo foram empregadas faixas contínuas representando os tratamentos, nas quais as repetições foram obtidas por meio de subamostragens ao longo da área. Além disso, o número de coletas ao longo do ciclo das culturas foi ajustado para contemplar estádios fenológicos específicos do milho e da soja nas condições edafoclimáticas da região de Palmas, TO. Também foram realizadas adaptações quanto ao tamanho das unidades amostrais, sendo utilizada a coleta de 1 metro linear de duas linhas por subamostra, visando melhor representatividade da variabilidade espacial em condições de campo em larga escala. A semeadura do híbrido Brevant B2701 PWU foi realizada em 27/02/2024, utilizando espaçamento de 0,50 m entre linhas e 0,20 m entre plantas, resultando em densidade aproximada de 100.000 plantas ha<sup>-1</sup>. No tratamento consorciado, a *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã foi semeada a lanço anterior ao plantio do milho, utilizando densidade de semeadura de 5 kg ha<sup>-1</sup>, seguida de leve incorporação pelo próprio deslocar da semeadora realizando o plantio.

Foram realizadas coletas ao longo do ciclo do milho nos estádios fenológicos V4, V10, R1, R4, R5 e R8 (colheita), que correspondem aos dias após a

semeadura de 12, 40, 58, 75, 97 e 114, respectivamente, totalizando seis coletas. Em cada ocasião foram obtidas quatro subamostras por faixa (oito amostras por coleta).

A soja foi implantada em 28/10/2024 sobre a palhada remanescente das duas faixas de milho. Utilizou-se a cultivar Monsoy M 7601 I2X, com espaçamento de 0,50 m entre linhas e 8,33 cm entre plantas, resultando em densidade estimada de 240.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Foram realizadas três coletas ao longo do ciclo (V5, R1 e R5.25), além da colheita em R8, que correspondem aos dias 24, 43, 78 e 113 após a semeadura, respectivamente. Cada coleta gerou três subamostras por faixa (seis no total).

O manejo nutricional, fitossanitário e operacional foi padronizado entre os tratamentos. As avaliações referentes à curva de crescimento do milho e da soja foram conduzidas em laboratório após a coleta das amostras em campo. Nas coletas de biomassa, amostraram-se 1 metro linear de duas linhas consecutivas por subamostra.

O material vegetal coletado foi transportado ao laboratório, onde se procedeu o particionamento das plantas, a fim de quantificar os componentes vegetativos e reprodutivos. Nessa etapa, foram determinadas as seguintes variáveis: peso total da amostra, peso da subamostra e separação dos componentes vegetativos em (folhas, colmos) e estruturas reprodutivas (folhas, colmos, espigas ou vagens), todo esse material foi pesado em balança Semi-Analítica Modelo BL3200H - Shimadzu. Após o particionamento, o material vegetal foi acondicionado em estufa de ventilação forçada a 65 °C por 72 horas, visando a determinação da matéria seca. As variáveis analisadas foram sistematizadas, organizadas em planilhas, por meio do programa Microsoft Office Excel®.

Os valores de massa seca (MS) foram expressos em kg ha<sup>-1</sup>, obtidos pela soma dos componentes vegetativos (folhas e colmos) e reprodutivos (espigas ou vagens) de cada cultura (Equação 1).

$$MS \text{ total } kg \text{ ha}^{-1} = \frac{PF \text{ total } x MS}{MU} x F \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: PF = peso fresco; MS = peso seco; F = fator de extrapolação para hectare; MU = massa úmida.

A produtividade foi obtida na colheita utilizando-se duas linhas de 5 m para cada cultura estudada. Os grãos foram beneficiados em trilhadora específica, sendo determinados sua umidade em analisador GEHAKA® G939 e corrigidos para 13% milho e soja, sendo expressos em kg ha<sup>-1</sup> e convertidos para sc ha<sup>-1</sup>. As variáveis analisadas foram sistematizadas e organizadas em planilhas, por meio do programa Microsoft Office Excel®.

Todas as análises foram realizadas no software R (R Development core team, 2024). Os dados de biomassa e dos estádios fenológicos foram ajustados a um modelo logístico, por meio de regressão não linear (Equação 2).

$$Massa \text{ seca } (y) = \frac{A}{1 + EXP [-b(x - c)]} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: Y = variável avaliada (ex.: massa seca); A = assíntota superior (valor máximo da variável); b = taxa de crescimento; x = tempo ou estágio fenológico; c = ponto de inflexão da curva, correspondente ao momento de crescimento máximo.

O modelo ajustado foi posteriormente submetido à verificação das premissas estatísticas, com ênfase na homogeneidade das variâncias e na normalidade dos resíduos, requisitos fundamentais para garantir a qualidade e a confiabilidade das inferências. Nos casos em que a variância apresentou comportamento heterogêneo, 29 procedeu-se ao ajuste por meio de modelagem da variância, buscando corrigir essa inconsistência e melhorar o desempenho do modelo, segundo a prática citada por Freitas (2022) para situações em que os dados não atendem aos pressupostos de homoscedasticidade exigidos pela análise de variância.

Os intervalos de confiança (95%) foram construídos pelo método de Wald, conforme descrito por Freitas (2022), e por meio de simulações bootstrap, neste, por meio de cinco mil simulações, método que permite estimar a variabilidade dos parâmetros a partir de reamostragens sucessivas dos dados. Essas simulações possibilitaram a construção de intervalos de confiança mais robustos para cada um dos modelos avaliados. A interpretação estatística considerou que a sobreposição desses intervalos de confiança caracteriza a aceitação da hipótese nula, buscando, igualdade estatística entre os modelos comparados.

Os dados de produtividade foram inicialmente avaliados por meio de inspeção gráfica utilizando box-plot, a fim de identificar possíveis discrepâncias entre os tratamentos. Como as variâncias apresentaram-se bastante heterogêneas e o número de repetições era reduzido, optou-se pela aplicação de um teste T para comparação de médias, conduzido por meio de simulações de bootstrap.

Para isso, foram realizadas cinco mil simulações, cujo algoritmo constituiu-se nas seguintes etapas: (1) seleção aleatória de três amostras de cada grupo de dados (tratamentos); (2) cálculo da média de cada grupo amostrado; (3) inclusão da média calculada ao grupo iii; (4) repetição do procedimento descrito nos passos 1-3 para o grupo jjj; e (5) cálculo da diferença entre as médias dos grupos, dada por:

$$\Delta = (\bar{y}_i) - \bar{y}_j$$

Os passos de 1 a 5 foram repetidos 5.000 vezes, resultando na construção da distribuição da diferença entre as médias desses grupos artificiais, cuja média tende a aproximar-se de zero.

Com essa distribuição gerada, o valor observado da diferença entre as médias dos dois tratamentos reais serviu como referência. O p-valor foi então calculado considerando a proporção de vezes, dentre as 5.000 simulações, em que valores inferiores ao valor de referência apareceram na distribuição (Equação 3). As diferenças observadas foram consideradas significativas para  $p < 0,05$ .

$$p = \frac{n^{\circ} \text{ de simulações em que } |\Delta_{sim}| \geq |\Delta_{abs}|}{5000}$$

(Equação 3)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de biomassa do milho, ao longo dos diferentes estádios fenológicos, foram ajustados por modelo logístico não linear, permitindo a estimação dos parâmetros a (assíntota), b (taxa de crescimento) e c (ponto de inflexão), bem como a avaliação de sua precisão e significância estatística. Modelagens dessa natureza são amplamente empregadas para descrever padrões sigmóides de crescimento vegetal e avaliar pressuposições dos resíduos em ajustes não lineares, conforme discutido por Gonzaga (2022).

No cultivo solteiro, a assíntota (a) estimou produção máxima de biomassa de 8.317 kg ha<sup>-1</sup>, representando o limite superior de acúmulo ao longo do ciclo. O coeficiente de crescimento (b = 3,06) indicou maior velocidade de acúmulo nas fases iniciais, enquanto o ponto de inflexão (c = 2,11) situou o pico da taxa de crescimento próximo ao estágio V10. Os erros-padrão (a = 532,93; b = 0,14; c = 0,06) demonstraram boa precisão das estimativas, especialmente para b e c. Os valores de T (15,61; 22,33; 34,69, respectivamente) e valores-p inferiores a 0,01 confirmaram a significância estatística dos parâmetros (Tabela 1).

No cultivo consorciado, a assíntota estimada foi superior (9.797,18 kg ha<sup>-1</sup>), indicando maior potencial máximo de acúmulo de biomassa. O coeficiente de crescimento (b = 2,38) evidenciou acúmulo mais gradual ao longo do ciclo, enquanto o ponto de inflexão (c = 2,38) indicou maior taxa de crescimento em torno do estágio R1. Apesar de erros-padrão mais elevados (a = 778,92; b = 0,18; c = 0,11), os parâmetros permaneceram estatisticamente significativos (t = 12,63; 13,45; 22,13; p < 0,01) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Coeficientes do modelo milho solteiro e milho consorciado.

Parâmetro	Valor	Erro padrão	Valor t	Valor p
Milho solteiro				
a	8.317	532,93	15,61	p<0,01
b	3,06	0,14	22,33	p<0,01
c	2,11	0,06	34,69	p<0,01
Milho consorciado				
a	9797,18	778,92	12,63	p<0,01
b	2,38	0,18	13,45	p<0,01
c	2,38	0,11	22,13	p<0,01

Ambos os modelos apresentaram ajuste estatisticamente consistente, evidenciando dinâmicas distintas de crescimento entre os sistemas. É esperado que medidas repetidas ao longo do tempo apresentem heterocedasticidade, uma vez que a variabilidade tende a aumentar com o desenvolvimento das plantas.

Após reamostragem, a dinâmica de acúmulo de massa seca ajustou-se adequadamente ao padrão sigmoidal típico da cultura, caracterizado por fase inicial lenta, crescimento acelerado e posterior estabilização (Gonzaga, 2022). As 5.000 simulações bootstrap permitiram a construção de intervalos de confiança robustos e a identificação de possíveis outliers.

No estádio V4, ambos os sistemas apresentaram baixos valores de massa seca, com sobreposição total das curvas, indicando ausência de diferenças iniciais. Em V10, observou-se acentuado incremento no acúmulo de biomassa em ambos os sistemas; o consórcio apresentou leve tendência a valores inferiores e maior variabilidade, enquanto o solteiro demonstrou maior homogeneidade. Entretanto, a ampla sobreposição dos intervalos de confiança indica ausência de diferença estatística.

No estádio R1, fase crítica de embonecamento e polinização, verificou-se maior dispersão entre repetições, mantendo-se, contudo, a sobreposição das médias ajustadas. Em R4 (grão pastoso), o consórcio apresentou valores médios elevados, coerentes com a maior assíntota estimada, porém com maior amplitude dos intervalos de confiança. O monocultivo apresentou curva levemente inferior e menor dispersão. Em R5 (grão dente), ambos os sistemas estabilizaram o acúmulo de biomassa,

persistindo a sobreposição dos intervalos de confiança.

Considerando todo o ciclo, a forte sobreposição das curvas ajustadas e de seus intervalos de confiança indica ausência de diferença significativa no acúmulo de biomassa entre os sistemas. A presença da braquiária não alterou a trajetória de crescimento vegetativo do milho, sugerindo que, nas condições experimentais, não houve competição interespecífica suficiente para modificar o padrão de acúmulo de massa seca.

Esses resultados corroboram Coelho et al. (2024), que também não observaram diferenças significativas na produção de biomassa entre milho solteiro e consorciado. Resultados semelhantes foram reportados por Santiani (2021). Ceccon et al. (2020), destaca que a população de plantas exerce maior influência sobre crescimento e produtividade do milho do que a presença da forrageira.

Do ponto de vista agrônomo, a ausência de diferença no acúmulo de biomassa não implica ausência de benefício sistêmico. A produção de resíduos vegetais influencia diretamente a ciclagem de nutrientes e o manejo da cultura subsequente (Baptistela et al., 2020). Sistemas milho-forrageira favorecem a manutenção da cobertura do solo, redução da amplitude térmica, preservação da umidade e melhoria estrutural.

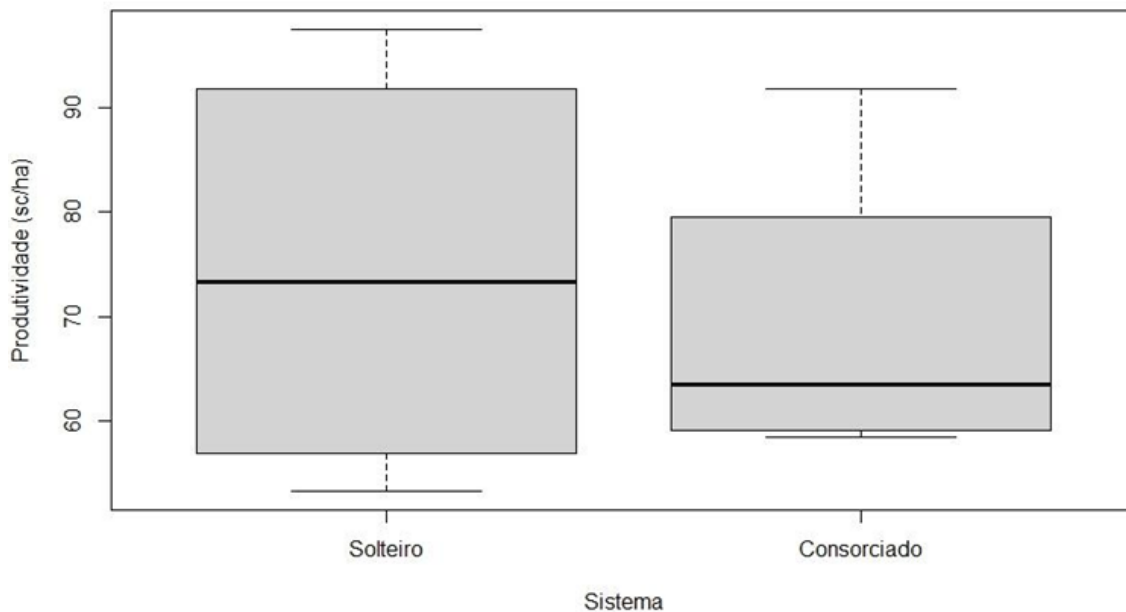
Estudos conduzidos por Guimarães (2023) indicam que a produção de biomassa em sistemas integrados contribui para maior eficiência agrônoma global. Kintschev (2021) observou menor acúmulo de biomassa e piores indicadores de qualidade do solo em milho solteiro, reforçando o potencial do consórcio para formação de palhada. Tal

aspecto é particularmente relevante em regiões de Cerrado, onde a elevada temperatura acelera a decomposição dos resíduos. Nesse contexto, o consórcio milho-braquiária constitui estratégia eficiente para manutenção da cobertura superficial (Ceccon et al., 2020).

Adicionalmente, Policarpo et al. (2023) relatam efeitos positivos do consórcio sobre o desempenho de culturas em sucessão, reforçando que a interpretação dos resultados deve considerar não apenas o acúmulo isolado de biomassa, mas o papel funcional do sistema no contexto produtivo.

Para visualizar a distribuição da produtividade do milho nos dois sistemas de cultivo, utilizou-se o

box-plot (Figura 2), permitindo avaliação inicial da posição central, dispersão e variabilidade entre as repetições. No sistema solteiro, observou-se maior amplitude do intervalo interquartílico (IIQ), indicando maior dispersão dos dados. A mediana posicionou-se na região central da caixa, representando o valor típico do conjunto amostral, enquanto *whiskers* mais extensos evidenciaram maior variabilidade entre parcelas. No cultivo consorciado, a caixa apresentou menor amplitude, refletindo IIQ mais estreito e, conseqüentemente, menor dispersão interna. A mediana situou-se na porção inferior da caixa, e os *whiskers* mais curtos indicaram maior uniformidade entre as repetições.



**Figura 2.** Box-plot da produtividade do milho ( $\text{sc ha}^{-1}$ ) em sistemas de cultivo solteiro e consorciado

Embora o box-plot evidencie diferenças na variabilidade, essa representação gráfica não permite inferir significância estatística entre médias. Assim, procedeu-se ao teste T com reamostragem *bootstrap*, após remoção prévia de outliers e construção de intervalos de confiança. O teste indicou ausência de diferença significativa entre os sistemas ( $p = 0,6976$ ). Apesar de o consórcio apresentar média ligeiramente superior ( $74,37 \text{ sc ha}^{-1}$ ) em comparação ao cultivo solteiro ( $69,36 \text{ sc ha}^{-1}$ ), essa diferença não foi estatisticamente significativa ao nível de 5%, indicando que a variação observada decorre da variabilidade experimental e não do sistema de cultivo.

Resultados semelhantes foram relatados por Bovino (2022), que também não identificou diferenças significativas na produtividade de grãos entre milho solteiro e consorciado com braquiária. Ceccon et al., (2020) ressaltam que densidade de sementeira e modalidade de implantação da braquiária são determinantes para evitar competição excessiva. Silva et al., (2020) enfatizam que a dinâmica de uso da água em sistemas milho-braquiária tende a favorecer a convivência entre espécies quando o consórcio é conduzido de forma equilibrada. Almeida (2020) reforça que, quando bem manejado, o consórcio mantém produtividades equivalentes ao monocultivo e amplia a oferta de palhada. Lima (2025) verificou que o espaçamento

entre linhas em consórcio com *Urochloa brizantha* não exerceu efeito significativo sobre a produtividade. Coelho et al. (2023), ainda apontam benefícios indiretos do consórcio, especialmente na ciclagem de nitrogênio e no desempenho de safras subsequentes.

Os dados de biomassa da soja ao longo dos diferentes estádios fenológicos foram ajustados por modelo logístico não linear, permitindo a estimação dos parâmetros  $a$  (assíntota),  $b$  (taxa de crescimento) e  $c$  (ponto de inflexão), conforme abordagem descrita por Gonzaga (2022). No cultivo sobre palhada do sistema solteiro, a assíntota estimada indicou estabilização do acúmulo de biomassa em aproximadamente  $8.405,33 \text{ kg ha}^{-1}$ . O coeficiente  $b = 2,52$  evidenciou maior intensidade de acúmulo nas fases iniciais, enquanto o ponto de inflexão  $c = 2,41$  indicou pico da taxa de crescimento em estágio mais avançado do ciclo. Os erros-padrão ( $a = 607,01$ ;  $b = 0,17$ ;  $c = 0,08$ ) demonstraram boa precisão das estimativas, e os valores  $t$  (13,85; 14,81; 29,36) com  $p < 0,01$  confirmaram significância estatística dos parâmetros.

No sistema sobre palhada do consórcio, a assíntota estimada foi de  $6.519,64 \text{ kg ha}^{-1}$ , indicando menor acúmulo final de biomassa. O coeficiente  $b = 2,78$  indicou acúmulo mais concentrado nas fases iniciais, enquanto o ponto de inflexão  $c = 2,23$  situou a taxa máxima de crescimento próxima ao estágio R1. Os erros-padrão ( $a = 1.406,31$ ;  $b = 0,25$ ;  $c = 0,17$ ) permaneceram dentro de limites aceitáveis. O parâmetro  $a$  apresentou  $p = 0,0036$ , enquanto  $b$  e  $c$  apresentaram  $p < 0,01$ , confirmando significância estatística.

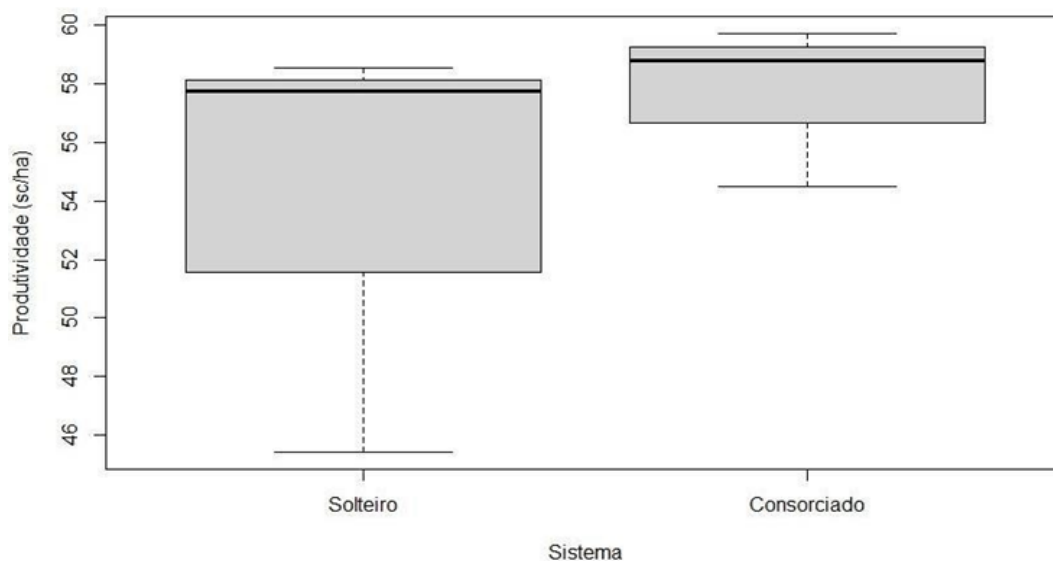
Após 5.000 simulações *bootstrap*, observou-se ajuste adequado ao padrão sigmoidal típico da cultura, caracterizado por fase inicial lenta, crescimento acelerado e posterior estabilização (Gonzaga, 2022). No estágio V5, ambos os sistemas apresentaram baixos valores de massa seca e total sobreposição das curvas. Em R1, verificou-se incremento acentuado da taxa de acúmulo, mantendo-se ampla sobreposição dos intervalos de confiança. No estágio R5, observaram-se os maiores valores de biomassa do ciclo, com leve tendência visual de maior acúmulo no sistema solteiro; entretanto, a sobreposição dos intervalos *bootstrap* indicou ausência de diferença estatística. A maior dispersão

observada no consórcio nesse estágio refletiu heterogeneidade estrutural, sem impacto consistente no acúmulo total.

De forma geral, a forte sobreposição das curvas ao longo do ciclo indica que o sistema antecedente, seja milho solteiro ou consorciado, não modificou significativamente o padrão fisiológico de acúmulo de biomassa da soja. A condição de área nova e a densidade populacional podem ter contribuído para essa equivalência. Resultados semelhantes foram relatados por Coelho et al. (2023) e Coelho et al. (2023), Almeida et al. (2020), que também não observaram influência consistente do sistema anterior sobre o desenvolvimento da cultura.

Já na análise da produtividade da soja, o box-plot (Figura 3) permitiu avaliação da distribuição e variabilidade entre os sistemas. No sistema solteiro, observou-se maior amplitude do intervalo interquartil, indicando maior dispersão entre repetições, com mediana próxima ao limite superior da caixa e *whisker* inferior mais longo, sugerindo presença de valores discrepantes. No consórcio, o IIQ foi mais estreito e os *whiskers* mais curtos, indicando maior homogeneidade. Embora a caixa do consórcio esteja posicionada ligeiramente acima da do sistema solteiro, tal deslocamento reflete apenas a distribuição dos dados e não caracteriza diferença estatística significativa entre os tratamentos.

O teste T com reamostragem *bootstrap* indicou ausência de diferença significativa ( $p = 0,3692$ ). A média do consórcio foi de  $57,67 \text{ sc ha}^{-1}$ , enquanto o sistema solteiro apresentou  $53,9 \text{ sc ha}^{-1}$ , diferença que não se confirmou estatisticamente ao nível de 5%. Assim, a palhada do consórcio não reduziu a produtividade da soja, tampouco promoveu incremento comprovado em relação ao sistema solteiro. Coelho (2023) também não identificou efeito do sistema anterior sobre o rendimento da soja. Por outro lado, Kintschev (2021) e Silva et al. (2019) relatam que incrementos produtivos podem ocorrer dependendo da espécie forrageira e do aporte de biomassa. David et al. (2024), indicam que o consórcio pode favorecer o ambiente produtivo em sucessão, enquanto Silva (2023) associa maiores rendimentos a melhorias biológicas do solo. Piatí (2022) observou maiores produtividades em sistemas com rotação de culturas, divergindo parcialmente dos resultados aqui obtidos.



**Figura 3.** Box-plot de produtividade da soja nos diferentes sistemas

De maneira geral, os resultados demonstram que, nas condições deste experimento, tanto a produtividade quanto o acúmulo de biomassa da soja mantiveram-se equivalentes independentemente do sistema antecedente, evidenciando estabilidade fisiológica e produtiva da cultura frente às diferentes palhadas.

## CONCLUSÃO

Nas condições deste estudo, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre milho solteiro e consorciado com braquiária para biomassa e produtividade. A soja em sucessão também não apresentou alterações detectáveis. Os resultados indicam potencial viabilidade do sistema consorciado no Cerrado tocantinense. Assim, milho consorciado com braquiária mostrou-se agronomicamente viável, mantendo produtividade equivalente ao milho solteiro e proporcionando palhada adicional sem prejudicar a cultura subsequente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, K.L.; Ferreira, R.V.; Silva, A. G.; Ferreira, C. J.B.; Braz, G.B.P.; Tavares, R. L. M. Consórcio do milho e *Brachiaria ruziziensis*, época de dessecação e desempenho da soja em sucessão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, e13791210867, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i12.10867.
- Baptistela, J.L.C.; Andrade, S.A.L.; Favarin, J.L.; Mazzafera, P. Urochloa em agroecossistemas tropicais. **Fronteiras em Sistemas Alimentares Sustentáveis**, v.4, p.1-17, 2020. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00119>.
- Bovino, W.E.G.; Gai, V.F.; Piovesan, G. **Produtividade do milho no consórcio com braquiária**. CityFarm, Cascavel, 2022. Disponível em: <https://ojsrevistas.fag.edu.br/index.php/cityfarm/article/download/1686/1546>. Acesso em: dez. 2025.
- Camargo, T.A.; Alves, L.A.; Mendes, I.C.; Gasques, L.R.; Oliveira, L.G.S.; Pires, G.C.; Almeida, T.O.; Carvalho, P.C.F.; Souza, E.D. Enhancing soil quality and grain yields through fertilization management in integrated crop-livestock systems in tropical soils. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition, Santiago**, v. 24, p. 1-15, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2024.103613>.
- Ceccon, G.; Neto, N.A.L.; Makino, P.A.; Sereia, R. C.; Leite, L.F.; Ribeiro, L.M.; Capristo, D.P. Quinze anos de consórcio milho-braquiária e soja em sucessão. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 17., 2020, Dourados. Sistema plantio direto: base para agricultura sustentável: anais eletrônicos. Dourados: Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação, 2020. p. 142. (Resumo em anais).

- Coelho, A.E.; Sangoi, L.; Moraes, R.F.; Sapucay, M. J.L.C.; Franchini, J. C.; Debiassi, H.; Balbinot Junior, A.A. (2024). Biomass and protein in ruzigrass intercropped with maize subjected to plant densities and nitrogen fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 58(AA), e03296. Retrieved from: <https://apct.sede.embrapa.br/pab/article/view/27510>.
- Coelho, A.E.; Sangoi, L.; Sapucay, M.J.L.C.; Bratti, F.; Debiassi, H.; Franchini, J. C.; Garbelini, L.G.; Junior, A.A.B. Maize-ruzigrass intercropping, nitrogen fertilization and plant density improve soybean performance in succession. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 27, n. 10, p. 729-737, 2023.
- Coelho, V.A. **Decomposição de palhada: liberação de nutrientes e atividade microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2023. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.
- CONAB. Safra de grãos 2024/25: **Estimativa recorde de 345,2 milhões de toneladas na produção de milho e soja**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/safra-de-graos-2024-25-e-estimada-em-345-2-milhoes-de-toneladas-com-recorde-na-producao-de-milho-e-soja>. Acesso em: out. 2025.
- Cruz, J.C.; Alvarenga, R.C.; Viana, J.H.M.; Pereira Filho, I.A.; Albuquerque Filho, M.R.; Santana, D.P. **Plantio direto. Sete Lagoas: 49 Embrapa Milho e Sorgo**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/sistema-de-manejo-do-solo/plantio-direto?utm.com>. Acesso em: dez. 2025.
- David, V.E; Cruvinel, A.G; Soares, V.F.A; Fonseca, W.S.; Rosa, E.S.; Tavares, R.L.M. **Produtividade de milho, sorgo e soja em áreas com plantas de cobertura em Rio Verde/GO**. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIRV – CICURV, 18., 2024, Rio Verde: UNIRV, 2024. v. 18, n. 1. Disponível em: <http://revistas2.unirv.edu.br/cicurv/article/view/657>. Acesso em: dez. 2025.
- FÓRUM BRASILEIRO DA AGRICULTURA TROPICAL. Agricultura tropical sustentável: cultivando soluções para alimentos, energia e clima. [S.l.]: Fórum Brasileiro da Agricultura Tropical, 2024. Disponível em: <https://agro.fgv.br/sites/default/files/2025-11/F%C3%B3rumPortugu%C3%AAs.pdf>. Acesso em: Fev. 2026.
- Freitas, A.R. **Estatística experimental na agropecuária**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1149859/1/Estatistica-experimental-na-agropecuaria-ed-01-2022-publicacao-digital.pdf>. Acesso em: dez. 2025.
- Gonzaga, N.A. **Descrição do acúmulo da massa seca da planta de milho considerando a cultura antecessora por modelos não lineares**. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 70 p. 2022.
- Guimarães Junior, E.A. **Ciclagem de nutrientes na biomassa de forrageiras tropicais após o consórcio com milho para a produtividade da soja**. (Trabalho de Conclusão de Curso). Bacharelado em Agronomia – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/4232>. Acesso em: dez. 2025.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Portal. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: nov. 2025.
- Kintschev, M. R. Biomassa microbiana e resistência do solo à penetração em função do consórcio de milho e *Brachiaria* spp. na produtividade da soja. 2021. 72 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2021.
- Lenz, E.A.; Pereira, A.S.; Reisser Junior, C.; Cuadra, S.V.; Azevedo, F.Q.; Silva, G.O.; Cima, F.F.; Silva, T.A.; Wolter, D.D. **Crescimento de plantas e produtividade de cultivares brasileiras de batata**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2021. 15 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1137736>. Acesso em: dez. 2025.

- Lima, E.V.; Martins, A.S.; Lima, P.S.L. Produtividade de milho consorciado com braquiária em sistema de integração agricultura-pecuária no estado do Pará. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 8, n. 1, e78168, 2025. DOI: 10.34188/bjaerv8n1-126.
- Piati, G.L. **Atributos físicos do solo e características agronômicas da soja em sistemas de sucessão e rotação de culturas**. 61 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2022.
- Policarpo, V.H.C.; Costa, R.D.; Nascimento, H.L.B.; Tavares, R.L.M.; Ferreira, C.J.B.; Boldrin, P.F. Parâmetros de raiz e atributos físicos do solo com cultivo de forrageiras dos gêneros *Panicum* e *Urochloa*. **Evidência**, 2023. ISSN 1519-5287; 2236-6059. Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/evidencia/article/view/32576>.
- Santiani, L.; Rossato, O.B.; Contini, R.P.; Vortmann, I.; Eisenhardt, J. Consórcio de milho com forrageiras: atributos físicos do solo e produtividade de massa seca. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 6, p. 36–46, nov./dez. 2020. DOI: 10.5747/ca.2020.v16.n6.a405.
- Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Lumbreras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.; Araújo Filho, J.C.; Oliveira, J.B.; Cunha, T.J.F. (org.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: dez. 2025.
- Silva, A.G.; Assis, R.L.; Oliveira, C.A.A.; Ferreira, C.J.B.; Teixeira, I.R.; Almeida, K.L.; Carmo, E.L. Variabilidade dos atributos físicos do solo e dinâmica da palhada em sistema integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 18, n. 3, p. 429-440, 2019. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20203482274>. Acesso em: set. 2025.
- Silva, G.S.F; Andrade Júnior, A.S.; Cardoso, M.J; Araújo Neto, R.B. Soil water dynamics and yield in maize and *Brachiaria ruziziensis* intercropping. **Pesquisa Agropecuária Tropical** [Agricultural Research in the Tropics], v. 50, p. e59809, 2020.