

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA**

GISELE RIBEIRO LIMA

**EFEITO DO CONSORCIO MILHO-BRAQUIÁRIA NA PRODUTIVIDADE DO MILHO
E DA SOJA PÓS MILHO EM PALMAS/TO.**

**PALMAS
2025**

GISELE RIBEIRO LIMA

**EFEITO DO CONSORCIO MILHO-BRAQUIÁRIA NA PRODUTIVIDADE DO MILHO
E DA SOJA PÓS MILHO EM PALMAS/TO.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
Bacharelado em Engenharia Agrônômica,
do Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia do Tocantins – *Campus*
Palmas, como exigência à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia
Agrônômica.

Orientador: Dr. Prof. Thomas Vieira Nunes

Coorientador: Dr. Jones Simon

**PALMAS
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

L732e Lima, Gisele Ribeiro
 EFEITO DO CONSORCIO MILHO-BRAQUIÁRIA NA
 PRODUTIVIDADE DO MILHO E DA SOJA PÓS MILHO EM
 PALMAS/TO. / Gisele Ribeiro Lima. – Palmas, TO, 2025.
 56 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins,
Campus Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientador: Dr. Thomas Vieira Nunes
Coorientador: Dr. Jones Simon

1. Consórcio de culturas. 2. Milho safrinha. 3. Soja em sucessão.
I. Vieira Nunes, Thomas. II. Simon, Jones. III. Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS - TO
COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA

GISELE RIBEIRO LIMA

**EFEITO DO CONSORCIO MILHO-BRAQUIÁRIA NA PRODUTIVIDADE DO MILHO E DA SOJA
PÓS MILHO EM PALMAS-TO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso Superior Bacharelado em
Engenharia Agrônoma do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins -
Campus Palmas - TO, como exigência à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Agrônoma.

Aprovado em: 18 de dezembro de 2025

BANCA AVALIADORA

Prof. Dr. Thômas Vieira Nunes
IFTO - Campus Palmas - TO.

Prof. Dr. Clauber Rosanova
IFTO - Campus Palmas - TO.

Dr. Jones Simon
Embrapa.



Documento assinado eletronicamente por **Thomas Vieira Nunes, Servidor**, em 18/12/2025, às 17:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Clauber Rosanova, Servidor**, em 18/12/2025, às 17:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jones Simon, Usuário Externo**, em 29/12/2025, às 15:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3011832** e o código CRC **DF718715**.



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS

Campus Palmas 310 Sul, Av. LO 5, s/n, esquina com a Avenida NS 10 - Plano Diretor Sul — CEP 77021-090 Palmas/TO - portal.iftto.edu.br — reitoria@iftto.edu.br

Referência: Processo nº 23236.025312/2025-24

SEI nº 3011832

Ao meu Deus. A toda a minha família.

Jose Carlos Ribeiro da Silva (in memoriam).

Raimundo Nonato Gonçalves de Lima (in memoriam), Maria Djanira Pereira de Lima (in memoriam).

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Mais do que simples palavras de gratidão, estas linhas representam uma dedicatória a todos que fizeram diferença na minha vida ao longo destes anos de constante aprendizado.

Agradeço, primeiramente, ao meu grandioso e bom Deus. Sem Ele, minha vida não teria sentido nem propósito. Foi quem me deu forças nos dias em que pensei não conseguir e fortaleceu a minha fé em cada etapa desta jornada.

Aos meus pais, Antonio Pereira de Lima e Erlene Aparecida Ribeiro da Silva, meu amor e gratidão eterna. Em especial à minha mãe, que chorou as minhas dores, sorriu comigo, me fortaleceu e acreditou em mim mesmo quando eu duvidava. Vocês são meu orgulho.

Aos meus irmãos, Gabrielle Ribeiro Lima, Guilherme Ribeiro Lima e Débora Sena de Lima, pelo apoio constante e incentivo.

Ao meu orientador, Professor Doutor Thomas Vieira Nunes, e ao meu coorientador, Doutor Jones Simon, por toda a orientação, auxílio e paciência ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Agradeço de forma especial ao meu coorientador pela autorização do uso dos dados e pelo apoio contínuo.

A todos os meus tios e tias, que fizeram parte desse processo, sempre oferecendo apoio, incentivo e palavras de ânimo.

Aos meus primos e primas, que foram presença e suporte em tantos momentos.

Ao meu padrinho, José Carlos Ribeiro (in memoriam), por todo o carinho, ajuda e incentivo que sempre me ofereceu.

Aos meus avós, Raimundo Nonato Gonçalves de Lima (in memoriam), Maria Djanira Pereira de Lima (in memoriam), Durvalina Ribeiro da Silva e Cícero Virginio da Silva, por todos os ensinamentos, pelo amor e por terem feito parte essencial da minha vida.

Aos parceiros e amigos de caminhada, Mateus dos Santos Silva, Maria Eduarda Cordeiro Feitosa, Julia Stephane Eneas, Ruthy Albuquerque, Mychelli Dias, Maria Eduarda Cordeiro, Isabela Nogueira, Girleane Tossan, Bianca Alves de Lima e Abgail Alves de Lima, obrigada por estarem ao meu lado e por cada gesto de apoio e amizade.

À minha líder, Kesia Mankeirute Santos, pelas orações, pelo cuidado e incentivo, por cada palavra compartilhada e por cada momento vivido juntas.

A todas as pessoas da minha igreja, pelo apoio, pelas orações e por todo carinho demonstrado ao longo dessa caminhada.

À Embrapa Pesca e Aquicultura, pela disponibilização do espaço para realização do experimento.

A todos os meus professores do IFTO, pelo conhecimento compartilhado, pela paciência e por contribuírem para a minha formação. Agradeço especialmente ao Professor Doutor Edvaldo Sant'Ana, por toda a ajuda, e ao Professor Doutor Clauber Rosanova, pelo apoio e pela frase que levarei para a vida: "É perto dos bons que a gente fica melhor."

Ao IFTO, pela oportunidade, pela estrutura e pelos ensinamentos que colaboraram para minha formação pessoal, acadêmica e profissional.

E, finalmente, a todos que, de alguma forma, contribuíram ou contribuem para o meu crescimento profissional, emocional e espiritual, deixo aqui o meu sincero agradecimento.

*“Esta é minha ordem: Seja forte e corajoso!
Não tenha medo nem desanime, pois o
Senhor, seu Deus, estará com você por
onde você andar”. Josué 1:9*

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 $69,36 \text{ sc.ha}^{-1}$ e o consorciado $74,37 \text{ sc.ha}^{-1}$ ($p = 0,6976$), enquanto a soja apresentou $53,9 \text{ sc.ha}^{-1}$ no monocultivo e $57,67 \text{ sc.ha}^{-1}$ 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. *Urochloa brizantha*.

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 (sole 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 confidence interval construction using Wald and bootstrap methods (5,000 simulations). 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⁻¹ in the sole maize system and 74.37 sc ha⁻¹ in the intercropped system ($p = 0.6976$), while soybean yield reached 53.9 sc ha⁻¹ in monoculture and 57.67 sc ha⁻¹ 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. *Urochloa brizantha*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Área de estudo	24
Figura 2 - Vista do experimento de milho.....	25
Figura 3 - Vista do experimento da soja.....	26
Figura 4 - Resultado do ajuste não-linear de um modelo logístico aos dados de massa seca acumulada ao longo das fenofases de desenvolvimento do milho cultivado em consórcio e solteiro	32
Figura 5 - Box - Plot de produtividade do milho.....	35
Figura 6 - Resultado do ajuste não-linear de um modelo logístico aos dados de massa seca acumulada ao longo das fenofases de desenvolvimento da soja cultivada sobre a palhada do consórcio e do monocultivo	40
Figura 7 - Box-Plot de produtividade da soja	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estádios e datas de coleta do milho.....	26
Tabela 2 - Estádios e datas de coleta da soja.....	27
Tabela 3 - Coeficientes do modelo milho solteiro.....	30
Tabela 4 - Coeficientes do modelo milho consorciado.....	31
Tabela 5 - Coeficientes do modelo soja em palhada solteira	38
Tabela 6 - Coeficientes do modelo soja em palhada consorciada.....	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1. Cultura da soja	14
2.2. Cultura do milho.....	16
2.3. Consórcio milho-braquiária.....	17
2.4. <i>Brachiaria</i> spp	19
2.5. Sucessão soja milho safrinha.....	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1. Caracterização do Local.....	23
3.2. Delineamento experimental e condução do cultivo.....	24
3.2.1 Cultivo do milho.....	25
3.2.2 Cultivo da soja em sucessão.....	26
3.3. Manejo das culturas	27
3.4. Procedimentos de coleta para determinação da matéria seca e da produtividade	27
3.5. Análise Estatística dos Dados.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1. Biomassa do Milho	30
4.2. Produtividade do milho	35
4.3. Biomassa da Soja	38
4.4. Produtividade da soja	42
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERENCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o avanço da agricultura intensiva e a crescente pressão sobre os recursos naturais têm colocado o setor agrícola entre os principais responsáveis pelos impactos ambientais em escala global (Filho et al., 2023). Diante desse cenário, torna-se essencial a adoção de práticas conservacionistas que conciliem produção e sustentabilidade, assegurando a preservação do solo, da água e da biodiversidade (Simões et al., 2023).

Entre as alternativas que contribuem para sistemas mais sustentáveis em regiões tropicais, a integração de culturas tem se destacado por promover a diversificação produtiva e favorecer a ciclagem de nutrientes, além de melhorar propriedades físicas e biológicas do solo (Borghi et al., 2013; Rosa, 2021). No Brasil, a soja e o milho ocupam posição de destaque nesses sistemas integrados devido à ampla adaptação às condições tropicais e, ao elevado potencial produtivo. Na região Norte, especialmente no estado do Tocantins, ambas as culturas consolidam a base da produção de grãos e contribuem decisivamente para o crescimento do setor agrícola (CONAB, 2025).

O milho possui papel central na intensificação agrícola, sobretudo na segunda safra, quando é cultivado em sucessão à soja. Esse arranjo favorece o avanço do plantio direto, otimiza o uso do solo e possibilita a integração com forrageiras (EMBRAPA, 2023; Lorenzetti et al., 2021). Entretanto, um dos principais desafios desse sistema ocorre no intervalo entre a colheita do milho e a semeadura da soja, período marcado pela redução da cobertura do solo. Nesse contexto, o consórcio entre milho safrinha e forrageiras tem se mostrado uma estratégia eficiente para aumentar a produção de palhada e garantir maior estabilidade produtiva (Broch e Ceccon, 2007; Coelho et al., 2023; Pereira et al., 2023).

Entre as forrageiras utilizadas em consórcio, destacam-se espécies dos gêneros *Urochloa* e *Panicum*, amplamente reconhecidas pela alta produção de biomassa, adaptação a ambientes tropicais e contribuição para a melhoria da estrutura e funcionalidade do solo (Jayme et al., 2022; Côrtes et al., 2021). Dentre elas, o capim-piatã (*Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã) apresenta características que favorecem sua integração com culturas anuais, como crescimento inicial moderado,

arquitetura adequada e boa resposta ao manejo, além de elevada produção de forragem no período seco (EMBRAPA, 2007).

A utilização de forrageiras consorciadas com o milho contribui para a formação de uma palhada mais persistente, devido à maior relação Carbono-Nitrogênio (C/N) e à decomposição mais lenta, condições especialmente desejáveis em ambientes quentes (Timossi et al., 2007). A manutenção dessa cobertura vegetal prolongada melhora a infiltração e retenção de água, reduz a erosão, favorece a atividade biológica do solo e aumenta o aporte de matéria orgânica, resultando em condições mais favoráveis para as culturas em sucessão, especialmente a soja (Coelho, 2023; Mendonça et al., 2014; Oliveira, 2023). Estudos demonstram que a soja semeada sobre palhada de consórcio pode apresentar ganhos expressivos de produtividade quando comparada ao cultivo sobre palhada de milho solteiro (Ceccon et al., 2007; Costa, 2010).

No Tocantins, entretanto, a manutenção da palhada representa um desafio adicional em função da elevada variabilidade pluviométrica e das altas temperaturas, que aceleram os processos de decomposição e diminuem a longevidade da cobertura do solo (Alves et al., 2024; De Camargo et al., 2024). Essas condições reforçam a necessidade de estratégias que aumentem a produção e a persistência da palhada, assegurando eficiência no sistema de plantio direto e estabilidade produtiva (Ortiz et al., 2024).

Diante disso, torna-se relevante avaliar arranjos produtivos que integrem milho e braquiária na região do Cerrado tocantinense, especialmente considerando seus efeitos sobre o desempenho das culturas subsequentes. Assim, 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.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Cultura da soja.

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), pertencente à família Fabaceae, é uma leguminosa anual de elevada importância econômica, social e estratégica para o agronegócio mundial. Originária da Ásia, especialmente da China, a espécie passou por um longo processo de domesticação e aprimoramento genético, tornando-se uma das culturas mais versáteis e cultivadas globalmente (Gazzoni & Dall'Agnol, 2018).

No Brasil, os primeiros registros da cultura datam de 1882, na Bahia, embora sem sucesso inicial devido à baixa adaptação das cultivares importadas. A expansão efetiva ocorreu a partir de 1914, no Rio Grande do Sul, onde as condições climáticas favoreciam o desenvolvimento da cultura. Desde então, avanços genéticos, tecnológicos e de manejo permitiram que a soja se expandisse para novas fronteiras agrícolas, consolidando-se como o principal produto do agronegócio brasileiro (APROSOJA, 2023).

Atualmente, a soja é utilizada por diversos setores industriais, incluindo os segmentos alimentício, farmacêutico, cosmético, veterinário e energético. Os grãos constituem importante fonte de proteína e óleo vegetal, sendo transformados em farelo, óleo, lecitina, bebidas e inúmeros derivados, o que reforça sua versatilidade e relevância econômica (APROSOJA, 2023).

O Brasil ocupa a posição de maior produtor e exportador de soja do mundo. Na safra 2024/2025, a produção nacional foi estimada em 171,5 milhões de toneladas, representando um aumento significativo em relação à safra anterior, impulsionado pela expansão da área cultivada e pela elevação da produtividade média. Estados como Mato Grosso, Paraná, Goiás e Rio Grande do Sul destacam-se como os principais polos produtores (CONAB, 2025).

No contexto da Região Norte, o Tocantins emerge como importante área de expansão da cultura. Na safra 2024/2025, o estado ampliou sua área plantada de 1,45 para 1,57 milhão de hectares, alcançando produtividade média de 3.422 kg.ha⁻¹ e produção total superior a 5,3 milhões de toneladas, colocando-se entre os principais produtores nacionais (CONAB, 2025). Essa expansão está diretamente relacionada à maior adoção de tecnologias de manejo, sementes adaptadas ao Cerrado e intensificação dos sistemas produtivos.

A evolução do cultivo da soja no Brasil tem sido fortemente associada à adoção do Sistema Plantio Direto (SPD), que contribui para o aumento da matéria orgânica do solo, para a melhoria da estrutura física e para a conservação hídrica (Hanke et al., 2022). Entretanto, o sistema de sucessão predominante – soja no verão seguida de milho safrinha – apresenta limitações relacionadas à formação de palhada. Devido ao elevado índice de colheita e à baixa produção de resíduos da soja, bem como à acelerada decomposição de sua palhada em razão da baixa relação C/N, a cobertura

do solo tende a ser insuficiente para a manutenção do SPD ao longo do ano (Santos et al., 2022).

Para mitigar essas limitações, tem-se intensificado o uso de sistemas que integrem culturas de cobertura ou forrageiras durante a safrinha, especialmente em consórcio com o milho. A utilização de espécies como *Urochloa* spp. proporciona maior produção de biomassa, maior relação C/N e decomposição mais lenta da palhada, promovendo cobertura mais duradoura e melhorando as condições para a implantação da soja na safra subsequente (Oliveira, 2023). Essa estratégia tem se mostrado fundamental para manter a sustentabilidade e a eficiência do SPD, sobretudo em regiões tropicais com elevada taxa de decomposição da matéria orgânica.

2.2. Cultura do milho.

O milho (*Zea mays* L.), pertencente à família Poaceae, é uma das culturas agrícolas mais antigas e relevantes para a segurança alimentar e para a indústria global. Originário da Mesoamérica, o cereal destaca-se por sua elevada adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas e por sua ampla versatilidade de uso, sendo matéria-prima essencial para alimentação humana e animal, além de diversos segmentos industriais, como os de amido, óleo, etanol e bioprodutos (EMBRAPA, 2022; Oliveira et al., 2022).

No cenário mundial, o Brasil ocupa posição de destaque como o terceiro maior produtor, sendo superado apenas pelos Estados Unidos e pela China (USDA, 2025). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2025), a produção brasileira na safra 2024/2025 foi de aproximadamente 139,7 milhões de toneladas, cultivadas em cerca de 21,9 milhões de hectares. O cultivo está distribuído por todas as regiões do país, com variações nas janelas de semeadura conforme as características climáticas locais.

O milho é tradicionalmente cultivado em duas principais épocas. A primeira safra, ou safra de verão, ocorre entre outubro e dezembro, período de início das chuvas, que favorece o desenvolvimento inicial da cultura. Já a segunda safra, o milho safrinha, é semeada predominantemente entre janeiro e abril, geralmente após a colheita da soja precoce. Atualmente, aproximadamente 75% do milho produzido no Brasil provém da safrinha, sistema caracterizado pelo cultivo em condições de maior

risco climático, sobretudo em relação à disponibilidade hídrica no final do ciclo (Pereira Filho; Cruz; Garcia, 2021; EMBRAPA, 2023).

A região Norte tem ampliado de forma expressiva sua participação na produção de milho, impulsionada pela adoção de tecnologias modernas, expansão da área cultivada e melhoria da infraestrutura logística. Entre os estados nortistas, o Tocantins se destaca como principal produtor de milho safrinha, registrando produção de 2,25 milhões de toneladas na safra 2024/2025. A área plantada aumentou de 373 mil para 415 mil hectares, e a produtividade atingiu 130 sacas.ha⁻¹ em algumas regiões, evidenciando o potencial agrícola da região para sistemas intensificados baseados em sucessão e integração (CONAB, 2025).

Apesar do bom desempenho produtivo, o milho safrinha apresenta limitações importantes, entre elas o cultivo em condições de maior estresse hídrico, menor janela de semeadura e aporte relativamente reduzido de palhada quando comparado a sistemas com forrageiras de alta relação C/N. Esses fatores tornam a cultura estratégica no contexto da intensificação sustentável, especialmente quando integrada a espécies forrageiras que complementam sua função na formação e na persistência da cobertura do solo em sistemas de plantio direto (Canisares et al., 2021; Lima et al., 2025).

2.3. Consórcio milho-braquiária

A intensificação sustentável da agricultura brasileira exige a adoção de sistemas produtivos que maximizem a eficiência no uso dos recursos naturais, reduzam a necessidade de insumos externos e promovam maior resiliência frente às variações climáticas. Nesse contexto, os sistemas integrados e consorciados têm se destacado como estratégias eficientes para melhorar a ciclagem de nutrientes, aumentar a estabilidade produtiva e favorecer a conservação do solo em áreas de Cerrado (Magalhães, 2021; Reis et al., 2021).

A cultura do milho safrinha apresenta limitações de produtividade em função da época de semeadura, além de contribuir de forma reduzida para o aporte de matéria orgânica ao solo. Nesse contexto, a integração de culturas surge como uma alternativa eficiente para aumentar a rentabilidade da produção, favorecendo a sustentabilidade do Sistema Plantio Direto (SPD). Entre as estratégias adotadas, destaca-se o cultivo simultâneo de milho com espécies forrageiras, especialmente

braquiárias, prática que vem ganhando espaço na safrinha em diversas regiões do Brasil, com maior expressão no Cerrado (Piatí, 2021).

Entre as estratégias integradas, o consórcio entre milho e espécies forrageiras do gênero *Urochloa* (sin. *Brachiaria*) tem se consolidado como uma prática agronomicamente eficiente e ambientalmente vantajosa. Nesse sistema, milho e braquiária são cultivados simultaneamente na mesma área, permitindo a produção conjunta de grãos e forragem. Essa abordagem favorece a formação de palhada em quantidade e qualidade superiores às obtidas em cultivos solteiros, reduzindo a erosão, aumentando a infiltração de água e promovendo melhores condições para o desenvolvimento das culturas subsequentes, como a soja (Brito, 2023).

A eficiência do consórcio depende de fatores como época de implantação da forrageira e arranjo espacial das plantas. O milho, devido ao porte elevado, ao crescimento rápido e ao elevado desempenho fotossintético, exerce dominância competitiva sobre a forrageira, especialmente em estádios iniciais. Essa dominância é desejável, pois mantém a braquiária parcialmente sombreada, evitando competição excessiva e garantindo que a cultura principal (milho) mantenha seu potencial produtivo (Bovino et al., 2021). A braquiária, por sua vez, apresenta elevada tolerância ao sombreamento e capacidade de retomada de crescimento após a colheita do milho, acumulando biomassa durante o início do período chuvoso (Pedrosa et al., 2025; Couto Santos et al., 2020).

As modalidades de implantação do consórcio variam conforme o objetivo produtivo, disponibilidade de máquinas e condições edafoclimáticas. As principais estratégias incluem: linha intercalar, linhas duplas intercaladas, mesmo sulco (ou linha conjunta) e, área total (lanço). Cada método apresenta vantagens específicas em termos de competição, uniformidade de estabelecimento e facilidade de manejo, sendo escolhidos de acordo com a finalidade (produção de grãos, formação de palhada ou produção de forragem) e o ambiente de cultivo (Vilar, 2021; Ceccon, 2015).

A inserção da braquiária no sistema contribui de maneira significativa para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Espécies desse gênero possuem sistema radicular vigoroso, profundo e altamente exploratório, alcançando camadas de aproximadamente 2 metros. Essa arquitetura radicular favorece a descompactação biológica, aumenta a porosidade, intensifica a condutividade hidráulica e promove maior absorção de nutrientes em profundidade,

beneficiando tanto o milho quanto as culturas em sucessão (Coelho & Kintschev, 2021).

Os resíduos vegetais deixados pelo consórcio milho-braquiária constituem importante fonte de matéria orgânica, que ao ser decomposta e mineralizada libera nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e carbono, ao longo do ciclo da soja. Esse processo contribui para o aumento da fertilidade e da atividade microbiana do solo, favorecendo o enraizamento e o desenvolvimento da cultura sucessora (Castro, 2022). Devido a esses efeitos positivos proporcionados pelo consórcio, diversos benefícios podem ser observados na soja cultivada em sucessão (Arruda, 2023). Nascimento (2023) verificou que a soja apresentou desempenho superior quando semeada sobre a palhada de *Urochloa brizantha*, reforçando o potencial desse sistema no aprimoramento do desenvolvimento e da produtividade da cultura.

2.4. *Brachiaria* spp.

O gênero *Urochloa* (sin. *Brachiaria*) representa um dos principais grupos de gramíneas forrageiras tropicais utilizadas na pecuária e em sistemas de integração no Brasil. Pertencentes à família Poaceae e caracterizadas pelo metabolismo fotossintético C₄, essas espécies apresentam elevada eficiência no uso da radiação solar, ampla adaptabilidade e grande capacidade de produção de biomassa, o que explica sua ampla distribuição em regiões tropicais e subtropicais (Martins et al., 2022; Paimel et al., 2025).

Estima-se que o Brasil possua cerca de 180 milhões de hectares de pastagens, dos quais aproximadamente 120 milhões correspondem a pastagens cultivadas, sendo grande parte delas formada por espécies de *Brachiaria*. Essa predominância decorre da tolerância dessas forrageiras a solos ácidos, de baixa fertilidade e sujeitos a períodos de déficit hídrico, condições típicas do Cerrado (Landgraf, 2025).

As espécies de *Brachiaria* apresentam características agronômicas que as tornam essenciais para sistemas de produção sustentáveis. Entre elas destacam-se: produção elevada de massa seca, bom valor nutritivo, robusto sistema radicular, alta capacidade de perfilhamento, resistência ao pisoteio, tolerância ao sombreamento, eficiência na ciclagem de nutrientes, capacidade de suprimir plantas daninhas (Carneiro et al., 2023; Ramos et al., 2014).

O sistema radicular profundo e agressivo, característico do gênero, contribui diretamente para a melhoria das propriedades físicas do solo. Ao penetrar camadas profundas, favorece a descompactação biológica, aumenta a infiltração de água, melhora a aeração e intensifica a absorção de nutrientes em profundidade (Serafim, 2025). Esse efeito estrutural é especialmente importante em sistemas agrícolas intensificados, nos quais a degradação física do solo é um dos principais limitantes ao desenvolvimento das culturas anuais.

Outro atributo relevante é a elevada relação C/N da palhada, que resulta em decomposição mais lenta dos resíduos vegetais, mesmo sob altas temperaturas - condição típica de ambientes tropicais (Momesso, 2021). A relação C/N, expressa a proporção entre os teores de carbono e nitrogênio em um material orgânico, é um dos principais fatores que determinam a taxa de decomposição e mineralização dos nutrientes, especialmente do nitrogênio (Oliveira et al., 2019). A decomposição gradual favorece: formação de cobertura vegetal mais duradoura, acumulação de matéria orgânica, maior proteção contra erosão, liberação progressiva de nutrientes e estímulo à atividade microbiana benéfica (Oliveira et al., 2019a; Merloti, 2024).

A escolha da espécie forrageira mais adequada ao sistema de produção depende da tolerância ao sombreamento, do vigor vegetativo, da velocidade de estabelecimento, da arquitetura das plantas e do potencial de produção de biomassa. Entre as opções mais utilizadas, destaca-se *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã, recomendada especialmente para sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP). Essa cultivar apresenta boa adaptabilidade às condições tropicais, arquitetura favorável ao manejo, elevada proporção de folhas e menor competição com culturas agrícolas quando comparada a outras cultivares do gênero (Gontijo Neto et al., 2014; Oliveira et al., 2019a).

A BRS Piatã foi lançada em 2007 pela Embrapa Gado de Corte, após extensos estudos de avaliação e seleção iniciados ainda na década de 1980 em parceria com o CIAT. Morfologicamente, caracteriza-se por porte ereto, crescimento em touceiras, altura entre 0,85 e 1,10 m, folhas lineares e colmos finos e ramificados (Embrapa, 2006; Costa et al., 2024). Essa arquitetura contribui para boa interceptação de luz, adequada formação de palhada e facilidade de manejo. Em condições de Cerrado, a cultivar apresenta produtividade média anual de aproximadamente 9,5 t.ha⁻¹ de matéria seca, sendo mais de 50% composta por folhas, com cerca de 36% da

produção concentrada no período seco do ano (Barbosa, 2022; Embrapa & Unipasto, 2025).

Em sistemas consorciados com milho, *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã demonstra elevada eficiência agronômica. A espécie tolera o sombreamento inicial imposto pelo milho e retoma seu crescimento vigorosamente após a colheita, acumulando biomassa significativa no início do período chuvoso. Quanto mais tardia a dessecação, maior é a quantidade de palhada formada, contribuindo para: melhoria da estrutura física do solo, proteção superficial contra erosão, incremento da matéria orgânica, manutenção da umidade e maior eficiência no sistema plantio direto (Bosi, 2023; Almeida et al., 2020).

O capim-piatã se destaca por ser uma forrageira robusta, de boa qualidade nutricional (11,3% Proteína Bruta), alta taxa de crescimento, alta relação folha/caule e elevada produção de massa seca, além de formar excelente cobertura vegetal. Apresenta boa resposta ao manejo de pastejo, maior suscetibilidade à dessecação por herbicidas (Barbosa, 2022). De acordo com dados da Embrapa em parceria com a unipasto (2025), a cultivar possui produtividade média de 9,5 t.ha⁻¹ de matéria seca por ano, sendo aproximadamente 57% composta por folhas, das quais cerca de 36% são produzidas durante o período seco.

Em sistemas de consórcio, o desempenho da *Brachiaria* é ainda mais relevante, pois a espécie continua crescendo após a colheita do milho, acumulando biomassa significativa no início do período chuvoso. Dessa forma, quanto mais tardia for a dessecação da forrageira, maior será a quantidade de massa sobre o solo, contribuindo para a formação de palhada e a sustentabilidade dos sistemas de produção (Bosi, 2023; Almeida et al., 2020).

Esses atributos tornam as espécies do gênero *Brachiaria*, especialmente a BRS Piatã, fundamentais para a sustentabilidade dos sistemas produtivos tropicais. Sua contribuição simultânea para a produção de forragem, formação de palhada e recuperação do solo consolida a importância dessas forrageiras em sistemas integrados e na sucessão soja–milho, promovendo maior estabilidade produtiva e conservação dos recursos naturais (Cordeiro, 2023; Policarpo et al., 2023).

2.5. Sucessão soja milho safrinha

Nas últimas décadas, a sucessão soja–milho safrinha consolidou-se como o principal arranjo produtivo de grãos no Brasil, impulsionada pela alta eficiência no uso

da terra, dos insumos e da infraestrutura agrícola. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), na safra 2024/2025 a soja ocupou 85,3% da área destinada à oleaginosa e, logo após sua colheita, 99,1% dessa área foi utilizada para o cultivo do milho de segunda safra, demonstrando a forte dependência entre as duas culturas (CONAB, 2025). Esse modelo aproveita a umidade residual do solo após o verão, além das chuvas remanescentes de outono, permitindo dois ciclos produtivos no mesmo ano agrícola (Embrapa, 2023).

Além da eficiência operacional, a sucessão soja–milho apresenta complementaridade nutricional importante. Como leguminosa, a soja contribui para o sistema com resíduos vegetais contendo nitrogênio proveniente da fixação biológica, favorecendo o desenvolvimento inicial do milho cultivado em seguida. O milho, por sua vez, possui sistema radicular profundo e eficiente na absorção de fósforo residual, explorando camadas do solo menos acessíveis à soja e contribuindo para o reaproveitamento de nutrientes remanescentes no perfil (Neto, 2021; Fialho, 2020).

Apesar desses benefícios, o sistema apresenta limitações relacionadas à formação de palhada, elemento essencial para a manutenção do Sistema Plantio Direto (SPD). A soja possui alto índice de colheita e produz quantidade reduzida de resíduos, que, devido à baixa relação C/N, são rapidamente decompostos pelos microrganismos do solo. Assim, a palhada da soja tende a se degradar em pouco tempo, deixando o solo desprotegido antes da semeadura da cultura seguinte (Cyrino et al., 2019). Essa rápida deterioração compromete a estabilidade do SPD, favorece a perda de umidade, aumenta a temperatura do solo e reduz a proteção contra erosão.

O milho contribui mais que a soja para a formação de cobertura, pois seus resíduos apresentam decomposição mais lenta. Entretanto, o aporte de palhada do milho pode ser insuficiente em algumas regiões, especialmente naquelas com clima quente e taxas elevadas de mineralização, como o Cerrado tocantinense. Além disso, a palhada do milho safrinha é frequentemente reduzida pelo menor porte das plantas submetidas ao estresse hídrico e pela curta janela de desenvolvimento em comparação ao milho de verão (Pinheiro, 2021; Cruz, 2021).

Diante dessa limitação estrutural do sistema soja–milho, a inserção de espécies forrageiras durante o ciclo do milho safrinha tem se mostrado uma estratégia eficaz para aumentar a quantidade e a persistência da palhada. A braquiária, quando cultivada em consórcio com o milho, produz elevada biomassa, com alta relação C/N

e decomposição gradual, resultando em cobertura mais duradoura e eficiente para a implantação subsequente da soja (Paciullo et al., 2022). Estudos demonstram que entre as sequências produtivas da safrinha, aquelas que envolvem milho consorciado com braquiária são as que geram maior aporte de matéria seca e maior longevidade da palhada sobre o solo (Spera et al., 2021).

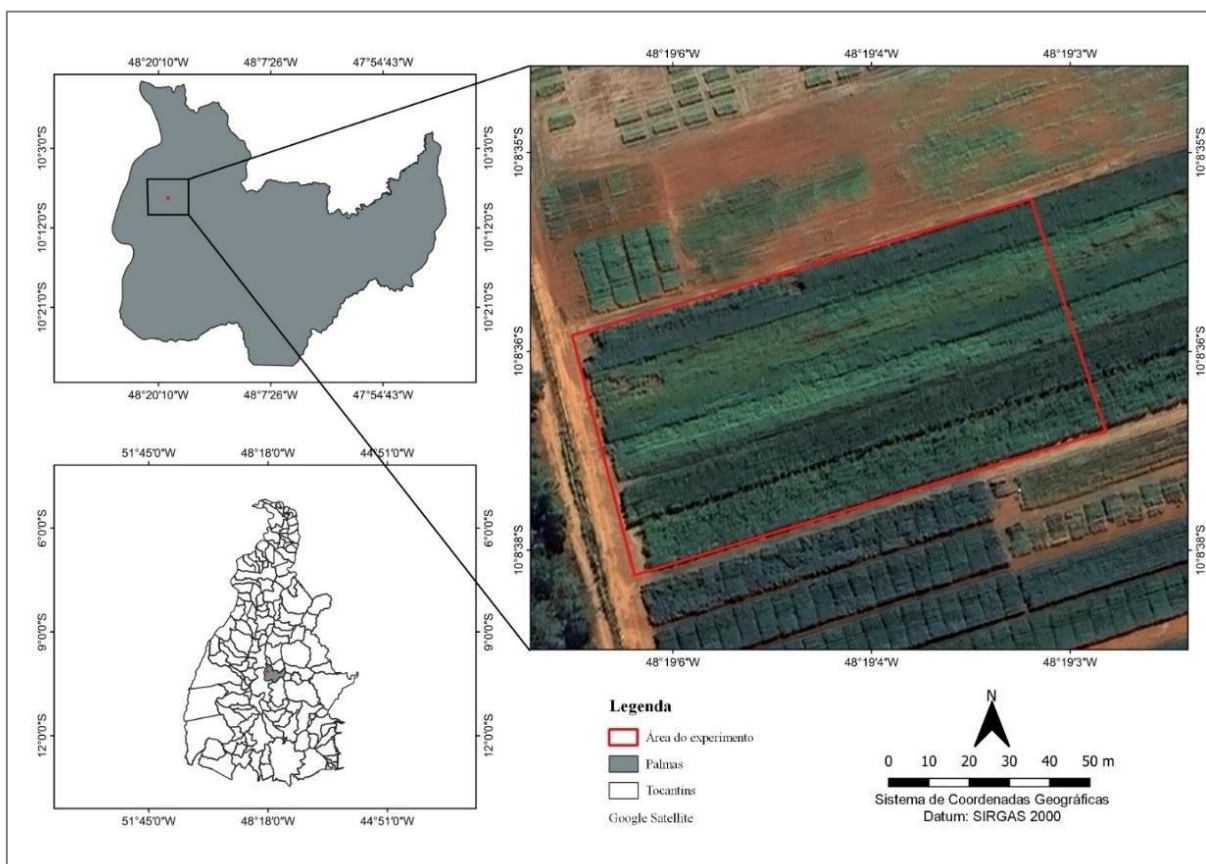
Assim, a sucessão soja–milho safrinha, embora amplamente consolidada, apresenta limitações que podem ser mitigadas por meio da integração de forrageiras no sistema. A utilização do consórcio milho–braquiária emerge como uma alternativa consistente para aumentar a resiliência do SPD, melhorar a estrutura física do solo, otimizar a ciclagem de nutrientes e garantir maior estabilidade produtiva no ambiente de Cerrado (Alves et al., 2024).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Caracterização do Local

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).

Figura 1 - Área de estudo.



Fonte: Autor, 2025.

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.

3.2. Delineamento experimental e condução do cultivo

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 subamostragens independentes, as quais foram utilizadas como repetições no ajuste das curvas 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 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 às condições específicas da área e ao objetivo do estudo.

3.2.1 Cultivo do milho

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⁻¹. No tratamento consorciado, a *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã foi semeada a lanço anterior ao plantio do milho, seguida de leve incorporação pelo próprio deslocar da semeadora realizando o plantio.

Figura 2 - Experimento do milho.



Fonte: Autor, 2024

Foram realizadas coletas ao longo do ciclo do milho nos estádios fenológicos V4, V10, R1, R4, R5 e R8 (colheita), totalizando seis coletas. Em cada ocasião foram obtidas quatro subamostras por faixa (oito amostras por coleta). Possível visualizar na **Tabela 1**.

Tabela 1 - Estádios e datas de coleta do milho.

Coleta	Dias após semeadura	Estádio	Solteiro	Consórcio
1	12	V4	✓	✓
2	40	V10	✓	✓
3	58	R1	✓	✓
4	75	R4	✓	✓
5	97	R5	✓	✓
6	114	R8	✓	✓

Fonte: Autor, 2025.

3.2.2 Cultivo da soja em sucessão

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⁻¹. Foram realizadas três coletas ao longo do ciclo (V5, R1 e R5.25), além da colheita em R8. Cada coleta gerou três subamostras por faixa (seis no total).

Figura 3 - Experimento da soja.

Fonte: Autor, 2024.

Foram realizadas três coletas ao longo do ciclo (V5, R1 e R5.25), além da colheita em R8. Cada coleta gerou três subamostras por faixa (seis no total). **Tabela2.**

Tabela 2 - Estádios e datas de coleta da soja.

Coleta	Dias após semeadura	Estádio	Solteiro	Consórcio
1	24	V5	✓	✓
2	43	R1	✓	✓
3	78	R5.2	✓	✓
4	113	R8	✓	✓

Fonte: Autor, 2025.

3.3. Manejo das culturas

O manejo nutricional, fitossanitário e operacional foi padronizado entre os tratamentos.

3.4. Procedimentos de coleta para determinação da matéria seca e da produtividade

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 uma 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⁻¹, obtidos pela soma dos componentes vegetativos (folhas e colmos) e reprodutivos (espigas ou vagens) de cada cultura (Equação 1).

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

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⁻¹ e convertidos para sc.ha⁻¹.

As variáveis analisadas foram sistematizadas e organizadas em planilhas, por meio do programa Microsoft Office Excel®.

3.5. Análise Estatística dos Dados

Todas as análises foram realizadas no software (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).

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

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,

procedeu-se ao ajuste por meio de modelagem da variância, buscando corrigir essa inconsistência e melhorar o desempenho do modelo. Prática citada por Freitas (2022) para situações em que os dados não atendem aos pressupostos de homocedasticidade 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 *bootstrap*.

Para isso, foram realizadas cinco mil simulações, cujo algoritmo constitua-se nas seguintes etapas: 1) seleção aleatória de três amostras eram de ambos os grupos de dados (tratamentos); 2) cálculo da média; 3) inclusão da média calculada ao grupo/tratamento i ; 4) repetição do procedimento descrito nos passos 1-3, mas inclusão da média no grupo j ; 5) cálculo das diferenças entre as médias $(\bar{y}_i - \bar{y}_j)$. Os passos de 1 a 5 foram repetidos 5.000 vezes resultando na construção de uma curva de 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. As diferenças observadas foram consideradas significativas para $p < 0,05$.

(Equação 3).

$$p = \frac{n^{\circ} \text{ de simulações em que } |\Delta_{sim}| \geq |\Delta_{obs}|}{5000} \quad (3)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Biomassa do Milho

Os dados de biomassa do milho, longo dos diferentes estádios fenológicos, foram ajustados por meio de um modelo logístico não linear, permitindo a estimação dos coeficientes, fundamentais para verificar a precisão das estimativas e a significância estatística de cada variável para cada sistema de cultivo avaliado. Esses mesmos testes foram utilizados em trabalhos como o de Gonzaga (2022) para verificar as pressuposições dos resíduos obtidos a partir de ajustes de modelos não lineares. As estimativas dos parâmetros a , b e c na são utilizadas para prever o crescimento da planta e, também, para comparar o crescimento das cultivares dentro de cada época de semeadura e entre as épocas de semeadura de uma mesma cultivar (Pezzini, 2019).

Para o milho no cultivo solteiro, a assíntota (a) estimou produção máxima de biomassa próxima de 8318 kg.ha^{-1} , indicando o limite superior de acúmulo ao longo do ciclo. O coeficiente de crescimento $b = 3,06$ mostrou que o milho solteiro apresenta acúmulo de biomassa mais rápido, refletindo maior eficiência nas fases iniciais. Já o ponto de inflexão $c = 2,11$ indicou que o pico da taxa de crescimento ocorre por volta do estágio V10, momento em que a planta atinge sua maior velocidade de ganho de biomassa. Os erros-padrão $a = 532,93$; $b = 0,14$; $c = 0,06$ mostraram boa precisão nas estimativas, principalmente para os parâmetros b e c , que apresentaram baixa variação. Os valores t elevados $a = 15,61$; $b = 22,33$; $c = 34,69$ e os valores- p inferiores a $0,01$ confirmaram que todos os coeficientes foram estatisticamente significativos, contribuindo de forma consistente para a descrição da curva de crescimento no sistema solteiro. (**Tabela 3**)

Tabela 3 - Coeficientes do modelo milho solteiro.

Parâmetro	Valor	Erro padrão	Valor t	Valor p
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	$p < 0,01$

Fonte: Autor, 2025.

Para o milho no cultivo consorciado, a assíntota (a) estimou uma produção máxima próxima de 9.797 kg.ha^{-1} de biomassa, enquanto o coeficiente de crescimento $b = 2,38$ indicou um acúmulo mais gradual ao longo do ciclo. O ponto de inflexão $c = 2,38$, indicou que o pico da taxa de crescimento ocorre por volta do estágio R1, momento em que a planta passa a concentrar maior velocidade de acúmulo de biomassa. Apesar de os erros-padrão terem sido relativamente elevados $a = 778,92$; $b = 0,18$; $c = 0,11$, ainda se mantiveram em níveis aceitáveis para garantir estimativas consistentes dentro do modelo ajustado. Os valores de t ($a = 12,63$; $b = 13,45$; $c = 22,13$) e valores- p inferiores a $0,01$ confirmaram que os coeficientes são estatisticamente significativos. (**Tabela 4**)

Tabela 4 - Coeficientes do modelo milho consorciado.

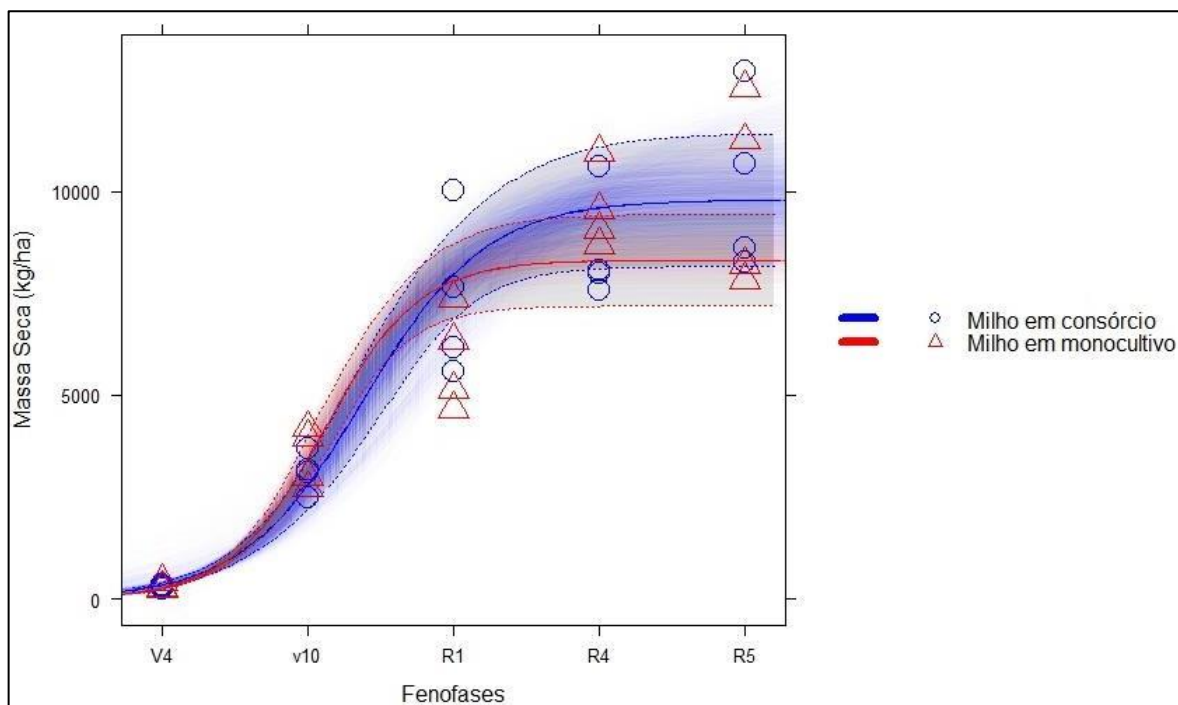
Parâmetro	Valor	Erro padrão	Valor t	Valor p
a	9797,18	778,92	12,63	$p < 0,01$
b	2,38	0,18	13,45	$p < 0,01$
c	2,38	0,11	22,13	$p < 0,01$

Fonte: Autor, 2025.

A análise dos coeficientes demonstra que ambos os modelos se apresentaram estatisticamente significativos e adequadamente estimados. As diferenças observadas refletem dinâmicas distintas e heterogêneas de desenvolvimento entre os sistemas, o que ajuda a explicar o comportamento das curvas ajustadas. Segundo Fernandes et al. (2014), é comum que medidas repetidas ao longo do tempo apresentem heterocedasticidade, pois a variação tende a aumentar conforme as plantas se desenvolvem.

Após a reamostragem, a dinâmica de acúmulo de massa seca ao longo das fenofases do milho ajustou-se adequadamente ao modelo logístico, que expressa o padrão sigmoidal como mostra a **Figura 4** típico da cultura, caracterizado por uma fase inicial lenta, seguida de crescimento acelerado e posterior estabilização (Gonzaga, 2022). Esse comportamento também é descrito por Oliveira et al. (2013). As cinco mil simulações bootstrap realizadas para ambos os sistemas permitiram a construção de intervalos de confiança robustos e evidenciaram o procedimento de detecção e remoção de outliers (Serrano, 2024).

Figura 4 - Resultado do ajuste não-linear de um modelo logístico aos dados de massa seca acumulada ao longo das fenofases de desenvolvimento do milho cultivado em consórcio e solteiro.



As linhas inteiras retratam o modelo, enquanto as pontilhadas a amplitude do intervalo de confiança de Wald. As linhas finas e coloridas representam as 5.000 simulações *bootstrap*.

Fonte: Autor, 2025.

No estágio V4, fase inicial em que a planta ainda apresenta pouca área foliar, ambos os cultivos registraram valores muito baixos de massa seca, as linhas do modelo se sobrepuseram totalmente, indicando ausência de diferenças entre milho consorciado com capim e milho solteiro nesse início do ciclo. Em V10, quando o milho atinge seu pico de crescimento vegetativo, as curvas de ambos os sistemas se elevaram de forma mais acentuada. O consórcio apresentou ligeira tendência a valores mais baixos e variabilidade, enquanto o solteiro mostrou tendência a valores mais altos e uma pequena variabilidade. Ainda assim, a forte sobreposição dos intervalos de confiança indica que essa diferença não é estatisticamente significativa.

No estágio R1, fase crítica de embonecamento e polinização, as curvas começam a crescer mais e se distanciar. Tanto o consórcio como o solteiro demonstraram maior variação entre as repetições. A média dos sistemas permaneceram sobreposta, mantendo a semelhança no padrão de crescimento. Em R4 (grão pastoso), o consórcio atingiu valores médios altos de biomassa, coerentes

com a assíntota mais elevada estimada pelo modelo. Seus intervalos de confiança também foram mais amplos, refletindo maior heterogeneidade. O monocultivo apresentou valores médios altos, uma curva mais homogênea e levemente inferior, mas com menor dispersão. Mesmo nesse estágio, as curvas continuaram a apresentar sobreposição e tendência a estabilidade.

Já em R5 fase do grão dente, próximo da maturação, ambos os sistemas estabilizaram o acúmulo de biomassa. Tanto o consorcio quanto o solteiro apresentaram dispersão entre as repetições. No entanto, a persistente sobreposição dos intervalos de confiança indica que as diferenças observadas não são suficientes para caracterizar distinção estatística entre os sistemas. Estas diferentes fases de acúmulo de matéria seca nos dois sistemas, caracterizadas neste experimento, foram semelhantes a observações por Oliveira et al. (2013), em que ocorre uma fase inicial de crescimento lento, seguida de uma fase de crescimento rápido, logo após podendo ocorrer uma fase final em que o crescimento se torna novamente lento ou estabilizado.

Considerando o ciclo completo, tanto a amplitude quanto as linhas do modelo mostraram forte sobreposição entre os sistemas, indicando que não houve diferença significativa no acúmulo de biomassa entre consórcio e solteiro. A presença da braquiária não alterou a trajetória de crescimento vegetativo do milho, sugerindo que, nas condições deste estudo, o capim piatã não impôs competição suficiente para modificar o padrão de acúmulo de massa seca.

Essa ausência de diferenças significativas é compatível com os resultados de Coelho et al. (2024) e Souza et al. (2024), que destacam que algumas variações visuais em sistemas integrados muitas vezes refletem apenas a heterogeneidade natural do ambiente, e não diferenças reais entre os tratamentos. Da mesma forma, Schuck et al. (2021) observaram ausência de diferenças significativas na produção de biomassa entre milho solteiro e consorciado, indicando que o consórcio nem sempre altera substancialmente o acúmulo de massa seca.

Santiani (2021) e Oligini (2019) obtiveram resultados semelhantes, verificaram que sistemas de milho consorciado não apresentaram diferenças estatísticas em relação ao monocultivo. Em contrapartida, Pariz (2013) registrou maiores produtividades de biomassa em associações de milho com capim piatã em determinadas modalidades, o que demonstra que os efeitos do consórcio dependem das condições de manejo e ambiente. Diversos fatores podem explicar a equivalência

entre os sistemas observada neste estudo, como o fato de a área ser relativamente nova, além da densidade de plantas aplicada nos dois cultivos. Makino (2019) em seus resultados concluiu que as populações de plantas de milho têm maior influência sobre o seu crescimento e produtividade do que a presença da braquiária.

Essa convergência entre os achados deste estudo e a literatura evidencia que, mesmo quando pequenas diferenças visuais surgem ao longo do ciclo, o comportamento produtivo da biomassa do milho em consórcio com braquiária tende a se manter estável ou até mesmo apresentar aumento no acúmulo total. Assim, torna-se fundamental interpretar esses resultados não apenas sob a ótica da produtividade final do milho, mas também considerando o papel agrônômico que a braquiária desempenha no sistema. É justamente nesse ponto que a avaliação do acúmulo de biomassa e das funções ecológicas do consórcio se torna essencial para compreender os benefícios mais amplos dessa estratégia de cultivo.

Do ponto de vista da ciclagem de nutrientes, a quantidade e a taxa de liberação de resíduos vegetais são fundamentais para o manejo nutricional da cultura subsequente (Baptistela et al., 2020). A combinação milho–forrageira para cobertura do solo é reconhecida por reduzir variações térmicas, preservar umidade, auxiliar na descompactação e disponibilizar nutrientes à medida que a biomassa se decompõe.

Incrementos agrônômicos em culturas sucessoras, especialmente a soja, têm sido observados em sistemas integrados de milho com forrageiras tropicais, como relatado por Dias et al. (2020) e Muniz et al. (2021). Esses efeitos positivos contribuem para a eficiência dos sistemas integrados, conforme reforçado por Guimarães (2023), que destacou a produção de biomassa como característica chave desses sistemas.

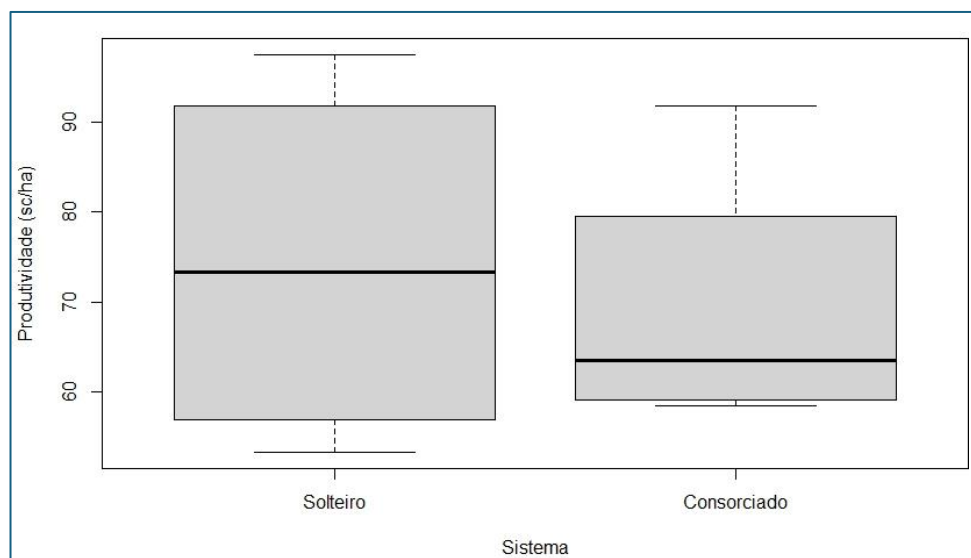
Além disso, Kintschev. (2021) observou que o milho solteiro apresentou menores ganhos de biomassa seca e piores indicadores de qualidade do solo, enquanto o consórcio mostrou maior potencial para formação de palhada e melhoria estrutural. Tal aspecto é especialmente importante em regiões de Cerrado, onde as altas temperaturas aceleram a decomposição dos resíduos, dificultando a permanência da palhada na superfície, como apontado por Pacheco et al. (2008). Nesse contexto, o consórcio de *Brachiaria* com milho (Sereia et al., 2012) constitui alternativa eficiente para manutenção de cobertura do solo.

Resultados obtidos por Costa et al. 2023 mostra que o consorcio tem resultados positivos para os desempenhos das plantas em sucessão.

4.2. Produtividade do milho

Para visualizar a distribuição da produtividade do milho nos dois sistemas de cultivo foi utilizado o box-plot, permitindo uma compreensão inicial do comportamento dos dados e de sua variação entre as repetições. A seguir na **Figura 5**.

Figura 5 - Box - Plot de produtividade do milho.



Fonte: Autor, 2025.

No sistema solteiro, observa-se uma caixa mais alongada, indicando que as repetições apresentaram maior dispersão dentro do intervalo interquartílico (IIQ). A mediana aparece posicionada na região central da caixa, representando o valor médio das observações desse sistema. Os whiskers além da caixa evidenciam a discrepâncias dos valores. O IIQ mais amplo reforça essa variabilidade, concentrando 50% das observações dentro de um intervalo maior.

No cultivo consorciado, a caixa apresenta amplitude menor, refletindo um intervalo interquartílico (IIQ) mais estreito. A mediana encontra-se posicionada na parte inferior da caixa, indicando o valor central do conjunto de dados nesse sistema. Os whiskers mais curtos mostram menor discrepância entre as repetições, sugerindo uma distribuição mais uniforme dos valores. O IIQ reduzido demonstra que metade dos dados está concentrada dentro de um intervalo menor, reforçando a menor dispersão observada.

Apesar dessas diferenças visuais, o boxplot evidencia apenas padrões de variabilidade, posição central e dispersão interna dos dados, sem permitir concluir,

isoladamente, se há diferença estatisticamente significativa entre os sistemas. Essa interpretação gráfica serviu como suporte para o teste t com reamostragem bootstrap, que envolveu a remoção prévia de outliers e a construção de intervalos de confiança por meio da técnica apresentada por Serrano (2024).

Para os resultados obtidos, verificou-se que não houve diferença significativa na produtividade do milho entre o cultivo solteiro e o consorciado com capim, uma vez que o valor de p (0,6976) ficou muito acima do nível de significância a 5%. Embora o consórcio tenha apresentado média ligeiramente superior de 74,37 sc.ha⁻¹ em relação ao sistema solteiro de 69,36 sc.ha⁻¹, essa diferença não se confirmou estatisticamente, indicando que a variação observada pode estar relacionada à própria variabilidade experimental e não ao sistema de cultivo. Resultados semelhantes foram relatados por Seidel et al. (2022), que também observou produtividades equivalentes entre milho solteiro e milho consorciado com braquiária, demonstrando que a presença da forrageira nem sempre acarreta competição suficiente para reduzir o rendimento.

Mesmo que visualmente algumas parcelas do sistema solteiro apresentassem valores mais elevados, o teste estatístico confirmou que, no conjunto, os dois sistemas apresentaram desempenho produtivo de grãos equivalente. A ausência de diferenças significativas indica que a presença da braquiária não comprometeu o rendimento do milho, e que a competição entre as espécies foi bem equilibrada ao longo do ciclo. Esses resultados reforçam que, nas condições estudadas, o consórcio milho–braquiária pode ser conduzido sem perda de produtividade, mantendo níveis de produção comparáveis aos do cultivo solteiro. O mesmo foi observado por Garcia (2012), que não identificou diferença significativa na produtividade de grãos entre milho solteiro e diferentes modalidades de consórcio com forrageiras do gênero *Brachiaria*. Resultados compatíveis também foram obtidos por Bovino (2022) e por Kluthcouski et al. (2003), que verificaram ausência de diferenças estatísticas entre milho solteiro e consorciado.

Santos (2016) acrescenta que a produtividade pode se manter semelhante mesmo após anos de consórcio, ressaltando que benefícios acumulados no sistema contribuem para equilibrar o desempenho entre as modalidades. Em estudo mais recente, Eneas (2025) observou que, apesar das características agrônômicas semelhantes entre milho solteiro e consorciado no Cerrado tocantinense, o sistema

solteiro tende a apresentar rendimentos ligeiramente superiores, mas ainda dentro de uma faixa próxima ao consórcio.

Diversos fatores podem influenciar a ausência de diferença entre os sistemas, como condições climáticas ao longo do ciclo, manejo adotado e eficiência da adubação. Ceccon et al. (2020) destacam que a densidade de semeadura e a escolha da modalidade de implantação da braquiária são determinantes para evitar competição excessiva e permitir que o milho expresse seu potencial produtivo mesmo em consórcio. Complementando essa perspectiva, Silva et al. (2020) relata que a dinâmica de uso da água em sistemas milho-braquiária tende a favorecer a convivência entre as culturas quando a forrageira é implantada de maneira equilibrada, minimizando interferências negativas no rendimento. Além disso, Almeida (2020) ressalta que, quando bem manejado, o consórcio torna-se uma alternativa atrativa, pois além de manter produtividades semelhantes a outro sistema, aumenta a oferta de palhada sem comprometer o desempenho produtivo.

Segundo Cruz et al. (2008), a produção do milho é confirmada entre o florescimento e grão leitoso, período em que poderá haver reduções no número de grãos. Até esta fase do desenvolvimento do milho, necessita-se que a braquiária não tenha uma produção de massa tão expressiva, o que leva ao uso de espécies alternativas em consórcio, com menor competição à cultura produtora de grãos.

Essas interpretações são consistentes com Cruz et al. (2009), que destacam que a interferência das forrageiras sobre o milho varia conforme solo, clima, espécie utilizada e manejo adotado, o que explica porque diferentes estudos encontram produtividades semelhantes entre os sistemas. Lima (2025) verificou que o espaçamento entre linhas do milho, em distintas modalidades de consórcio com *Urochloa brizantha*, não exerceu efeito significativo sobre a produtividade, reforçando que a simples escolha da modalidade não implica redução de rendimento. Resultados semelhantes foram relatados por Wenneck (2021), que observou que o cultivo em linhas intercaladas apresentou produtividade equivalente ao milho solteiro, evidenciando compatibilidade entre os sistemas.

Além desses aspectos de manejo, estudos como os de Coelho et al. (2023) e Souza et al. (2025) apontam que o consórcio pode promover benefícios adicionais, especialmente por melhorias na ciclagem de nitrogênio e no desempenho da produtividade em safras subsequentes, sugerindo efeitos positivos de médio a longo

prazo. Quaresma (2022) observa que o milho em consórcio tende a responder de forma mais expressiva a níveis mais altos de adubação, o que aumenta sua competitividade frente à forrageira e contribui para manter produtividades equivalentes entre os sistemas.

4.3. Biomassa da Soja

Os dados de biomassa da soja, ao longo dos diferentes estádios fenológicos, foram ajustados por meio de um modelo logístico não linear, que permitiu a estimação dos coeficientes para verificar a precisão das estimativas e a significância estatística para cada sistema de cultivo avaliado. Testes semelhantes também foram empregados por Gonzaga (2022) para avaliar as pressuposições associadas aos resíduos provenientes do ajuste de modelos não lineares. As estimativas dos parâmetros a , b e c são fundamentais tanto para descrever o crescimento da planta quanto para comparar o desempenho das cultivares dentro de cada época de semeadura, além de permitir a avaliação entre diferentes épocas para uma mesma cultivar (Pezzini, 2019).

No cultivo sobre palhada do sistema solteiro, a assíntota estimada indicou que o acúmulo de biomassa tende a se estabilizar em aproximadamente 8405 kg/ha. O coeficiente de crescimento $b = 2,52$ mostra que a soja acumulou biomassa de forma mais rápida nas fases iniciais, enquanto o ponto de inflexão $c = 2,41$ indica que o pico da taxa de crescimento ocorre em estágio um pouco mais avançado do ciclo. Os erros-padrão $a = 607,01$; $b = 0,17$; $c = 0,08$ foram relativamente baixos, especialmente para b e c , indicando boa precisão das estimativas. Os valores t elevados $a = 13,85$; $b = 14,81$; $c = 29,36$ e os valores p inferiores a 0,01 confirmam que todos os coeficientes são estatisticamente significativos e essenciais para descrever o padrão de crescimento da soja nesse sistema. (**Tabela 5**).

Tabela 5 - Coeficientes do modelo soja em palhada solteira.

Parâmetro	Valor	Erro padrão	Valor t	Valor p
a	8405,33	607,01	13,85	p<0,01
b	2,52	0,17	14,81	p<0,01
c	2,41	0,08	29,36	p<0,01

Fonte: Autor, 2025.

No sistema sobre palhada do consórcio, a assíntota estimada (a) foi menor, indicando que o acúmulo final de biomassa no solo tende a estabilizar em aproximadamente 6519 kg.ha⁻¹. O coeficiente b = 2,78 indicou que o acúmulo de biomassa se concentra de maneira mais acentuada nas fases iniciais do ciclo, enquanto o ponto de inflexão c = 2,23 revela que a taxa máxima de crescimento é atingida próximo ao estágio R1. Os erros-padrão a = 1406,31; b = 0,25; c = 0,17 permaneceram dentro de limites aceitáveis, sustentando a confiabilidade das estimativas. Os valores t elevados a = 4,63; b = 11,17; c = 13,22 indicam forte contribuição para o ajuste do modelo. A assíntota (a) apresentou valor-p de 0,0036, enquanto os coeficientes b e c exibiram valores-p inferiores a 0,01. Mesmo com essa pequena diferença na assíntota, todos os parâmetros permaneceram estatisticamente significativos. (**Tabela 6**).

Tabela 6 - Coeficientes do modelo soja em palhada consorciada.

Parâmetro	Valor	Erro padrão	Valor t	Valor p
a	6519,64	1406,31	4,63	p<0,0036
b	2,78	0,25	11,17	p<0,01
c	2,23	0,17	13,22	p<0,01

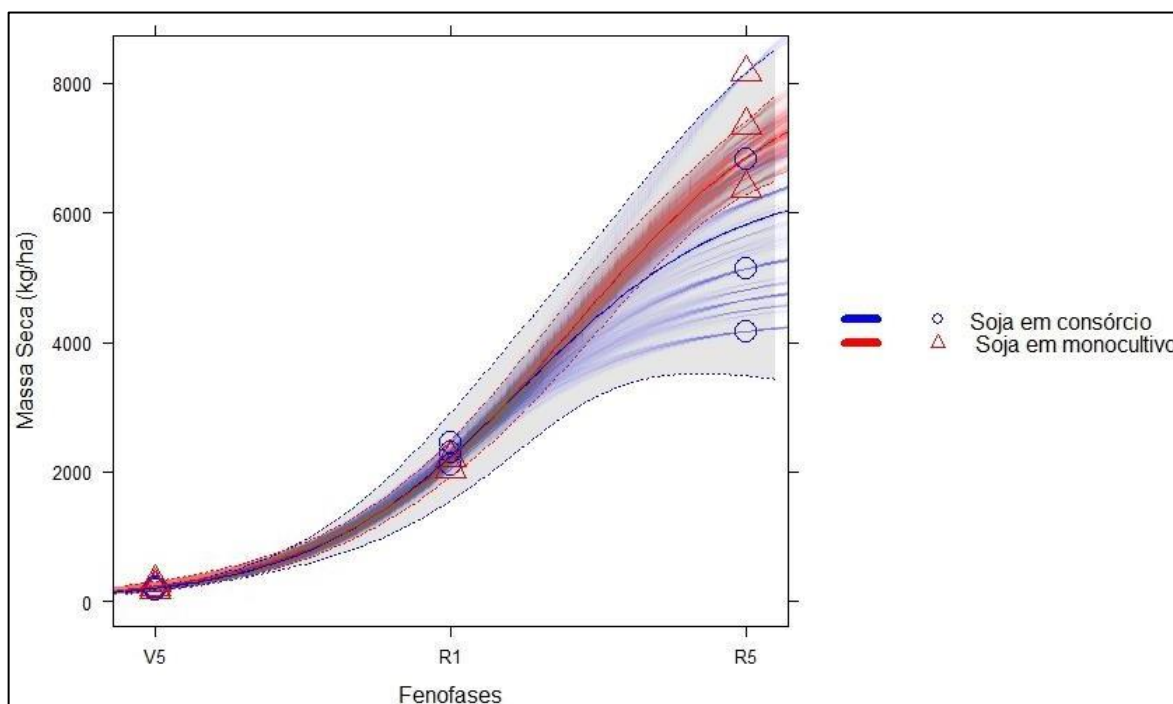
Fonte: Autor, 2025.

Os coeficientes analisados demonstram que ambos os modelos foram estatisticamente significativos e estimados de maneira consistente. As variações verificadas refletem dinâmicas distintas e heterogêneas de desenvolvimento entre os sistemas. Segundo Fernandes et al. (2014), em avaliações realizadas ao longo do tempo é comum ocorrer heterocedasticidade, uma vez que a variabilidade tende a aumentar conforme as plantas avançam no desenvolvimento.

Após a reamostragem, a dinâmica de acúmulo de massa seca ao longo das fenofases da soja mostrou ajuste adequado ao modelo logístico, que representa o padrão sigmoidal típico da cultura como mostra a **Figura 6**, caracterizado por uma fase inicial lenta, seguida por rápido incremento de crescimento e posterior estabilização, como apresentado na Figura X (Gonzaga, 2022). Esse comportamento também é relatado por Oliveira et al. (2013) para variáveis biométricas obtidas ao longo do ciclo da planta. As cinco mil simulações bootstrap realizadas para ambos os

sistemas possibilitaram a construção de intervalos de confiança consistentes e evidenciaram o procedimento de detecção e remoção de outliers (Serrano, 2024).

Figura 6 - Resultado do ajuste não-linear de um modelo logístico aos dados de massa seca acumulada ao longo das fenofases de desenvolvimento da soja cultivada sobre a palhada do consórcio e do monocultivo.



As linhas inteiras retratam o modelo, enquanto as pontilhadas a amplitude do intervalo de confiança de Wald. As linhas finas e coloridas representam as 5.000 simulações *bootstrap*.

Fonte: Autor, 2025.

A dinâmica de acúmulo de massa seca da soja mostrou o comportamento sigmoideal típico da cultura, evidenciando a progressão natural do crescimento ao longo das fenofases. No estágio V5, correspondente ao quinto nó desenvolvido, os valores de massa seca ainda foram baixos em ambos os sistemas, pois a planta se encontrava em fase vegetativa, priorizando expansão foliar e formação do dossel. Nesse momento inicial, as curvas do consórcio e do monocultivo se mantiveram sobrepostas, indicando que o sistema de cultivo não influenciou o crescimento inicial da soja.

Ao avançar para o estágio R1, marcado pela abertura da primeira flor, houve um aumento acentuado na taxa de acúmulo de biomassa, reflexo da intensificação das atividades fisiológicas no início do período reprodutivo. Mesmo com esse avanço,

as curvas dos dois sistemas continuaram amplamente sobrepostas, confirmando que o consórcio não interferiu no desempenho da soja nesta fase.

No estágio R5, correspondente ao enchimento de grãos, a cultura atingiu os maiores valores de massa seca do ciclo. Visualmente, observou-se uma tendência de valores ligeiramente maiores no sistema solteiro, porém essa diferença aparente não se sustentou estatisticamente. A análise dos intervalos de incerteza gerados pelo bootstrap revelou ampla sobreposição entre os sistemas, demonstrando que essa variação não representa diferença real. A maior dispersão observada no consórcio nesse estágio está associada à maior heterogeneidade estrutural desse sistema, mas não resultou em redução consistente ou significativa no acúmulo de biomassa. Padrão semelhante também foi descrito por Petter (2016), ao demonstrar que o acúmulo de massa seca da soja apresenta a típica curva sigmoidal das culturas anuais. Conforme o autor, o crescimento ocorre de forma lenta até cerca de 30 dias após a emergência (DAE), acelera intensamente até aproximadamente 75 DAE e, posteriormente, tende a declinar, sobretudo devido à senescência e queda das folhas do baixeiro.

Nesse conjunto, tanto a curva média quanto a amplitude deixam claro que, os dois sistemas mostram forte sobreposição ao longo de praticamente todo o ciclo. Esse resultado indica que os efeitos residuais do milho consorciado com braquiária e do milho solteiro não foram suficientes para modificar o acúmulo de biomassa seca ao longo de todo o desenvolvimento da soja. Assim, mesmo conduzida sobre palhadas de origens distintas, a cultura apresentou trajetória fisiológica semelhante, evidenciando elevada capacidade de adaptação ao ambiente pós-colheita, independentemente do sistema de cultivo antecedente. A condição de área nova e a densidade populacional podem ter contribuído para a ausência de diferenças entre os sistemas.

Evidências obtidas em diferentes estudos nacionais corroboram comportamentos parecidos. Coelho et al. (2023) observou em seu trabalho que o desenvolvimento da soja não foi afetado quando cultivada em sucessão ao milho consorciado com capim. Garcia (2012), avaliando soja em sistema plantio direto sobre palhadas de milho + *Urochloa* após adubação nitrogenada, também não constatou efeito do sistema sobre o desenvolvimento da cultura. Resultados semelhantes foram relatados por Sapucay et al. (2023), que verificaram que sistemas de consórcio não influenciaram o crescimento da soja cultivada em sucessão. Almeida et al. (2020)

reforça essa tendência ao demonstrar que o sistema de cultivo e o manejo da biomassa não alteraram de forma consistente o acúmulo de massa seca da soja ao longo do ciclo. Da mesma forma, Torres et al. (2015) não identificou efeito significativo das diferentes coberturas do solo sobre a produção de fitomassa da cultura.

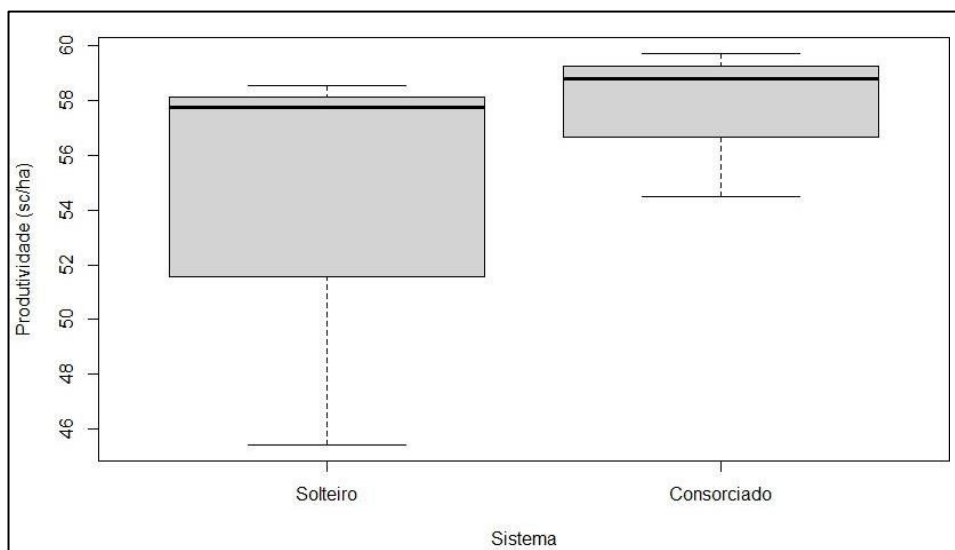
Por outro lado, alguns estudos mostram que respostas divergentes podem ocorrer dependendo das condições ambientais e edáficas. Oliveira (2024) observou que características específicas do solo podem alterar a produção de biomassa ao longo do ciclo da cultura. Torres et al. (2023), por sua vez, destacaram que o desenvolvimento de massa seca da soja pode apresentar resposta positiva quando conduzida sobre coberturas bem estabelecidas.

De acordo com Mechi et al. (2016), os sistemas consorciados apresentam efeitos residuais que se acumulam ao longo do tempo, tornando-se mais evidentes após vários anos de adoção contínua. Assim, o consórcio milho-braquiária tende a favorecer gradualmente o acúmulo de biomassa da soja cultivada em sucessão, refletindo melhorias estruturais e funcionais no solo decorrentes de quatro ou mais anos consecutivos de uso do sistema.

Quando analisados em conjunto, esses trabalhos reforçam que a resposta da soja ao sistema de cultivo anterior está fortemente condicionada às características do ambiente de produção. No presente estudo, os resultados indicam que, independentemente do sistema antecedente, seja milho solteiro ou consorciado, a soja foi capaz de manter um acúmulo de biomassa consistente e equivalente ao longo de todo o ciclo, demonstrando elevada estabilidade fisiológica e adaptabilidade às condições pós-colheita.

4.4. Produtividade da soja

Na análise da produtividade da soja, O box-plot foi utilizado para apresentar a distribuição da produtividade nos dois sistemas de cultivo como mostra a **Figura 7**, permitindo uma visualização inicial do comportamento dos dados e da sua variabilidade.

Figura 7 - Box-Plot de produtividade da soja.

Fonte: Autor, 2025.

No sistema solteiro, observa-se uma caixa com maior amplitude, indicando que as repetições apresentaram maior dispersão dentro do intervalo interquartílico (IIQ). A mediana aparece posicionada próxima ao limite superior da caixa, representando o valor central dos dados. O whisker inferior mais longo evidencia que os dados que estão para além dos whiskers são discrepantes ou outliers.

No cultivo consorciado, a caixa apresenta amplitude menor, refletindo um IIQ mais estreito. A mediana também se encontra próxima ao limite superior da caixa, indicando o valor central das observações dentro desse intervalo. Os whiskers mais curtos mostram menor discrepâncias entre as repetições. Embora a caixa esteja posicionada em um pouco acima da caixa do solteiro no gráfico, essa característica refere-se apenas à disposição dos dados dentro da amostra, não permitindo inferir diferenças reais de produtividade entre os sistemas.

o boxplot mostra os padrões de variabilidade, a posição central e a distribuição interna dos valores de cada sistema. No entanto, essas informações gráficas não permitem determinar se existe diferença significativa entre os sistemas de cultivo. Essa diferença no padrão de variação é um ponto importante para compreender o comportamento da soja nos dois sistemas, e serviu como base para complementar a análise com o teste t com reamostragem bootstrap.

A partir do teste t, verificou-se que não houve diferença significativa na produtividade da soja na palhada do cultivo consorciado e do cultivo solteiro. O valor de p encontrado (0,3692) ficou acima do nível de significância de 5%, indicando que

a diferença observada entre as médias não foi suficiente para caracterizar um efeito real dos sistemas de cultivo sobre a produtividade da cultura.

Embora o sistema consorciado tenha apresentado uma média ligeiramente maior $57,67 \text{ sc.ha}^{-1}$ em relação ao cultivo solteiro $53,9 \text{ sc.ha}^{-1}$, essa diferença foi pequena e não se confirmou estatisticamente. Mesmo que em algumas parcelas um dos sistemas parecesse produzir mais, o teste estatístico demonstrou que, no conjunto dos dados, os dois sistemas apresentaram produtividades semelhantes. Portanto, para este experimento, a palhada do consórcio não reduziu a produtividade da soja, mas também não promoveu ganhos comprovados em comparação a palhada do cultivo em sistema solteiro. Esses resultados indicam que os efeitos residuais do milho consorciado com braquiária não exerceram influência significativa sobre o desempenho produtivo da soja, demonstrando que a cultura respondeu de forma estável às condições deixadas pelos dois sistemas de cultivo anteriores. Tais resultados podem ser explicado por serem áreas novas ou pela densidade de plantio dos sistemas.

Resultados semelhantes foram relatados por Mendonça (2014), que observou que a produtividade da soja em áreas com presença de palhada não diferiu daquela obtida sobre milho sem consorciação, indicando que a biomassa residual não compromete o rendimento da leguminosa. Coelho (2023) também não encontrou diferenças consistentes nos componentes de rendimento da soja em função do sistema de cultivo do milho, reforçando a estabilidade produtiva da cultura.

Entretanto, alguns autores relatam comportamentos distintos. Kintschev (2021) constatou que a soja em sucessão ao milho solteiro apresentou menor produtividade em comparação a outros sistemas, e que, em algumas safras, o consórcio pode resultar em perdas dependendo do objetivo de produção (grãos ou palhada). Resultados divergentes em sistemas com outros gêneros de forrageiras foram observados por Assis (2019), que verificou maior produtividade de soja quando semeada sobre a biomassa dos capins paiaguás e tamani, sendo a menor produtividade registrada após milho em monocultivo. Souza (2020) também destacou que a produtividade da soja aumentou quando a população de *Panicum* foi elevada no consórcio, favorecendo a leguminosa pelo maior aporte de resíduos.

Estudos como os de David et al. (2025) e Richetti (2013) demonstram que o consórcio pode beneficiar o desenvolvimento da soja em sucessão, proporcionando

ambiente mais favorável, com menor risco de perdas por veranicos e potencial incremento de produtividade. Silva (2023) associou maiores rendimentos de soja às melhorias bioquímicas e biológicas do solo promovidas por sistemas integrados. Em contrapartida, Piatí (2022) observou que maiores produtividades foram obtidas em sistemas com rotações de culturas, resultado que difere do obtido neste estudo.

Mechi et al. (2016) destaca que os benefícios do consórcio milho-braquiária sobre culturas em sucessão só se tornam evidentes após vários anos de adoção contínua. Segundo os autores, ganhos produtivos na soja começam a aparecer apenas após quatro ou mais anos de consórcio, devido ao acúmulo gradual dos efeitos residuais no solo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para as condições em que o experimento foi conduzido, o sistema de milho consorciado com *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã e o sistema de milho solteiro não apresentaram diferenças na produção de biomassa nem na produtividade.

A palhada remanescente dos dois sistemas de cultivo do milho também não ocasionou alterações na biomassa nem na produtividade da soja cultivada em sucessão, que se mantiveram estáveis.

REFERÊNCIAS

- 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. Acesso em: 05 dez. 2025.
- ALVES, V.B, PADILHA, N.D.S, GARCIA, R.A, & CECCON, G. (2014). **Milho safrinha consorciado com *Urochloa Ruziziensis* e produtividade da soja em sucessão.** *Jornal Internacional de Milho e Sorgo* , 12 (3), 280–292. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n3p280-292>
- ANDRADE, C. A. O. **Potencial da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta para recuperação de pastagem degradada em Rondônia.** 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura, 2018.
- ANDRADE, C. A. O. **Sobressemeadura de espécies forrageiras em soja para viabilidade do plantio direto e integração lavoura-pecuária no Tocantins.** 2015. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2015. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/424>. Acesso em: 02 out. 2025.
- ARRUDA, E. M.; SILVA, L. V. F.; ALMEIDA, R. F.; SANTOS, M. P.; RIVA NETO, D. C. O.; LAZARINI, É.; SOUZA, J. A. L. **Produtividade de soja em sistema de sucessão milho e forrageiras.** In: CIÊNCIAS AGRÁRIAS: debates emblemáticos e situação perene. 3. ed. p. 145–155. DOI: 10.22533/at.ed.12223231013.
- ASSIS, L. F. A. **Produtividade da soja sob a biomassa de forrageiras em sistema de integração lavoura pecuária e do milho.** 2023. 86 f. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, 2019.
- BAPTISTELA, J.L.C; ANDRADE, S.A.L DE; 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> » <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00119>
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. **Produtividade e teor de nutrientes do milho em consórcio com braquiária.** *Ciência Rural*, v. 37, n. 1, p. 176-182, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/kqJz7pjvjyCGzfbgTWXsMKq/?lang=pt>. Acesso em: 02 out. 2025.
- BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R.; BRUNETTI, H. B.; CUADRA, S. V.; SANTOS, P. M. **Parametrização do modelo APSIM para estimativa da produtividade do consórcio milho-braquiária cultivado para produção de silagem.** *Boletim de*

Pesquisa e Desenvolvimento, n. 59. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2023. e-ISSN 1981-2078.

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: 04 dez. 2025.

BRITO, R. F. F. de. **Consórcio milho-braquiária no norte do tocantins**. 2023. 86 f. Dissertação (Doutorado em Zootecnia) Universidade Federal do Norte do Tocantins, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação Integrado em Zootecnia nos Trópicos (PPGIZT), 2023

CAMARGO, T. A. de; ALVES, L. A.; MENDES, I. de C.; GASQUES, L. R.; OLIVEIRA, L. G. S. de; PIRES, G. C.; ALMEIDA, T. O.; CARVALHO, P. C. de F.; SOUZA, E. D. de. **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>. Acesso em: 02 out. 2025.

CANISARES, L. P.; ROSELEM, C. A.; MOMESSO, L.; CRUSCIOL, C. A. C.; VILLEGAS, D. M.; ARANGO, J.; RITZ, K.; CANTARELLA, H. **Maize-Brachiaria intercropping: a strategy to supply recycled N to maize and reduce soil N₂O emissions?** *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 319, art. 107491, out. 2021. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107491. Acesso em: 06 dez. 2025.

CARNEIRO, A. V. B.; MORAIS, C. E. L.; ALENCAR, N. M.; GUEDES, K. B. **Características produtivas e estruturais de *Brachiaria* spp. em Latossolo Vermelho-Amarelo**. *Revista Foco*, v. 16, n. 6, 2023. DOI: 10.54751/revistafoco.v16n6-090.

CECCON, G., SILVA, J.F. D, MAKINO, P. A, & NETO, N. A. L (2018). **Consórcio milho-braquiária com densidades populacionais da forrageira no centro-sul do Brasil**. *Jornal Internacional de Milho e Sorgo*, 17 (1), 157–167. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v17n1p157-167>

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).

CECCON, G.; SILVA, J. F. D.; MAKINO, P. A.; NETO NETO, A. L. **Consórcio milho-braquiária com densidades populacionais da forrageira no Centro-Sul do Brasil**. *International Journal of Maize & Sorghum*, v. 17, n. 1, p. 157-167, mar. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v17n1p157-167>. Acesso em: 04 dez. 2025.

CECCON, G.; NETO, A. L.; SEREIA, R. C.; RIBEIRO, L. M.; MAKINO, P. A.; CAPRISTO, D. P.; OLIVEIRA, O. H. de. **Quinze anos de consórcio milho-braquiária e soja em sucessão**. Resumo em anais. [s.l.]. Disponível em:

https://anais.infobibos.com.br/MilhoSafrinha/16/Resumos/Resumo16MilhoSafrinha_002.pdf. Acesso em: 4 dez. 2025.

COELHO, A. E., SANGOI, L., MORAES, R. F., SAPUCAY, M. J. L. DA C., FRANCHINI, J. C., DEBIASI, 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.; DEBIASI, 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. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/JTvGgxVKsVjBKPjQqWshPvx/?format=html&lang=en>. Acesso em: 02 out. 2025.

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. Safr 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/safr-de-graos-2024-25-e-estimada-em-345-2-milhoes-de-toneladas-com-recorde-na-producao-de-milho-e-soja>. Acesso em: 02 out. 2025.

CORDEIRO, L. R. B. A.; BEZERRA, R. C. A.; SANTOS, A. R. M.; HENRIQUE, J. C. G. S.; FONSÊCA, G. R. F.; LEITE, M. L. M. V. **Indicadores de qualidade do solo em cultivos de plantas forrageiras: uma revisão**. *Revista GEAMA – Ciências Ambientais e Biotecnologia*, v. 9, n. 3, p. 75–85, dez. 2023. ISSN 2447-0740.

CÔRTEZ, I. H. G.; JAYME, D. G.; GONÇALVES, L. C.; RAMIREZ, M. A.; MENEZES, R. A.; OLIVEIRA, A. F.; TEIXEIRA, A. M.; MAGALHÃES, F. A.; PIRES, F. P. A. A.; MENEZES, G. L.; BORGES, A. L. C. C.; LOPES, L. T.; CAMARGOS, G. H. S.; ANANIAS, J. V. A. ***Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*)**. Cap. 13. p. 225–248.

COSTA, J. A. A.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G.; ZIMMER, A. H. **Produtividade de soja semeada em palhada de capins cultivados em consórcio com milho na safrinha**. Anais do XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Goiânia, GO, Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010. CD-ROM.

CRUSCIOL, C. A. C et al. **Lasting effect of *Urochloa brizantha* on a common bean-wheat-maize rotation in a medium-term no-till system**. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. vol. 7, 10 maio 2023.

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:**

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: 06 dez. 2025.

CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R. et al. **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 517p

CYRINO, T. C.; SANTOS, E. L.; CECCATTO, S. E. K.; SORIANI, R.; CONTE, O.; BALBINOT, A. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H. **Distribuição de resíduos vegetais na colheita da soja**. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA. Londrina: Embrapa Soja, [s.d.]. p. 138–145.

DE DAVID, V. E; CRUVINEL, A. G; SOARES, V. de. F. A; FONSECA, W. dos. S; ROSA, E. S. da; 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: 05 dez. 2025.

DELANDMETER, M.; CARVALHO, P. C. de F.; BREMM, C.; CARGNELUTTI, C. dos S.; BINDELLE, J.; DUMONT, B. **Integrated crop–livestock systems increase both production and environmental performance**. Science of the Total Environment, Amsterdam, v. 923, p. 172-184, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169061>. Acesso em: 02 out. 2025.

EMBRAPA. **Brachiaria brizantha – BRS Piatã**. Produto/serviço tecnológico. Embrapa, s.d. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/865/brachiaria-brizantha---brs->. Acesso em: 02 out. 2025.

ENEAS, J. S. M., EVANGELISTA, B. A., LIMEIRA, A. S., PEIXOTO, T. L., FERNANDES, S. S., & JÚLIA STEPHANE MELO ENEAS; BALBINO ANTONIO EVANGELISTA, C. A. S. L. T. L. P. S. S. F. (2025). **Desempenho do milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária cultivado no cerrado tocantinense**. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1172211.com>

FERNANDES, T. J. et al. **Seleção de modelos não lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro**. Coffee Science, Lavras, v. 9, n. 2, p. 207-215, abr./jun. 2014.

FERREIRA, Y. A. **Consórcio milho e braquiária seguido de cultivo de sorgo forrageiro**. Monte Carmelo, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) — Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/23409/1/Cons%C3%B3rcioMilhoBraqui%C3%A1ria.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2025

FIALHO, A. R. **Sistemas de produção de soja em sucessão a culturas anuais de cobertura**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2020.

FREITAS, A. R. de. **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: 4 dez. 2025.

GARCIA, C.M. P. **Produtividade do milho e de matéria seca de forrageiras em consórcio e doses de nitrogênio na cultura da soja em sucessão**. 2012. 188 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012

GAZOLA, R. de N.; MELO, L. M. M.; DINALLI, R. P.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; CELESTRINO, T. S. **Cultura da soja em sucessão ao cultivo de milho em consórcio com braquiárias**. *Revista Cultura Agrônômica*, v. 26, n. 3, p. 225-236, 2017. Disponível em: <https://ojs.unesp.br/index.php/rculturaagronomica/article/view/2446-8355.2017v26n3p225-236>. Acesso em: 02 out. 2025.

GAZZONI, D. L.; DALL'AGNOL, A. **A saga da soja: de 1050 a.C. a 2050 d.C.** Brasília, DF: Embrapa, 2018. 199 p. ISBN 978-85-7035-807-3. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1093166>. Acesso em: 05 dez. 2025.

GONZAGA, N. de A. **Descrição do acúmulo da massa seca da planta de milho considerando a cultura antecessora por modelos não lineares**. 2022. 70 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2022.

GUIMARÃES JUNIOR, E. A. **Ciclagem de nutrientes na biomassa de forrageiras tropicais após o consórcio com milho para a produtividade da soja**. 2023. (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: 06 dez. 2025.

GUIMARÃES, A.G; CECCON, G; CAPRISTO, D.P; OLIVEIRA, O.H; RETORE, M. **Produtividade do milho solteiro e consorciado com braquiária em duas classes de solo associado a doses de *Azospirillum brasilense***. Resumo em anais (MilhoSafrinha). Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2021. Disponível em: https://anais.infobibos.com.br/MilhoSafrinha/16/Resumos/Resumo16MilhoSafrinha_0006.pdf. Acesso em: 4 dez. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Portal*. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 8 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.

KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L.P. STONE, L.F.; AIDAR, H. **Opções de integração lavoura-pecuária**. 1.ed. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.129-141.

LANDGRAF, L. **Benefícios do consórcio de milho com braquiária na soja estão na vitrine da Embrapa no Show Rural.** *Embrapa Notícias*, 02 fev. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/78154356/beneficios-do-consorcio-de-milho-com-braquiaria-na-soja-estao-na-vitrine-da-embrapa-no-show-rural>. Acesso em: 05 dez. 2025.

LENZ, E. A.; PEREIRA, A. da S.; REISSER JUNIOR, C.; CUADRA, S. V.; AZEVEDO, F. Q.; SILVA, G. O. da; CIMA, F. F.; SILVA, T. A. da; 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: 4 dez. 2025.

LIMA, E. do V.; MARTINS, A. dos S.; LIMA, P. da 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.

LOBO, C. A. N.; MARQUES, F. A.; REZENDE, C. F. A. **Diferentes densidades da braquiária na produtividade do milho consorciado.** *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 11, n. 1, p. 423-429, dez. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21206/rbas.v11i1.12914>. Acesso em: 04 dez. 2025.

MACEDO, M. C. M. **Integração lavoura-pecuária-floresta: o estado da arte e inovações tecnológicas.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 5, p. 361-369, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/65VKMnBXKv8RBCg4fSvLWkL/?lang=pt>. Acesso em: 02 out. 2025.

MACHADO, L. A. Z.; GARCIA, R. A.; CONCENÇO, G. **Estabelecimento de pastagem em consórcio com soja.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2023. (Circular Técnica, 54). 35 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1153425/1/CT-54-2023-CPAO2.pdf>. Acesso em: 02 out. 2025.

MAKINO, P. A.; CECCON, G.; FACHINELLI, R. **Produtividade e teor de nutrientes em populações de milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária.** *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Dourados-MS, v. 18, n. 2, p. 206-220, 2019.. Acesso em: 04 dez. 2025

MARQUES, A.L.S; SAIKI, G. M; ROSANO-PENÃ, C; RODRIGUES, GAP, ALBUQUERQUE, R. D. O., & GARCÍA VILLALBA, L. J (2024). **Método Bootstrap de Ecoeficiência na Indústria Agropecuária Brasileira.** *Sistemas*, 12 (4), 136. <https://doi.org/10.3390/systems12040136>

MECHI, I. A.; SANTOS, A. L. F. dos; FACHINELLI, R.; CECCON, G. **Anos de consórcio de milho safrinha com braquiária sobre a produtividade da soja em sucessão.** In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 31., 2016, Bento Gonçalves. *Milho e sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar: anais*. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1057757>. Acesso em: 4 dez. 2025

MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, É. H.; PEREIRA, F. C. B. L.

Liberção de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 183–193, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbc20150666.

MERLOTI, L. F, BOSSOLANI, J. W, MENDES, L. W *et al.* **Investigando os efeitos de variedades de *Brachiaria* (Sin. *Urochloa*) nas propriedades do solo e no microbioma.** *Plant Soil* 503 , 29–46 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06225>

MOMESSO, L. **Braquiárias em sistemas de produção.** AgroAdvance. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-braquiarias-em-sistemas-de-producao/>. Acesso em: 06 dez. 2025.

OLIGINI, K. F; SALOMÃO, E. C; BATISTA, V. V; LINK, L; ADAMI, P. F; SARTOR, L. R. 2019. **Produtividade de milho consorciado com espécies forrageiras no sudoeste do Paraná.** *Agrarian*, 12(46), 434–442. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v12i46.8705>

OLIVEIRA, P. *et al.* **Crescimento e produtividade de milho em função da cultura antecessora.** *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 43, p. 239-246, 2013.

OLIVEIRA, T.C.C; CECCON, G; TOMAZI, M; RAMOS, F.S. **Produtividade de milho em cultivo solteiro e consorciado com *Brachiaria ruziziensis*.** In: Jornada de Iniciação à Pesquisa da Embrapa. Resumos. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2024. p. 15. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1172253>. Acesso em: 4 dez. 2025.

OLIVEIRA, V. G. de; GUIMARÃES, A. G.; CECCON, G. **Produtividade da soja após milho e consórcio milho-braquiária em dois solos e dessecação com glifosato.** In: Jornada de Iniciação à Pesquisa da Embrapa – JIPE 2022, Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. 30 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1151818>. Acesso em: 4 dez. 2025.

OLIVEIRA, V. G. **Produtividade da soja em sucessão ao milho solteiro e consorciado com *Brachiaria ruziziensis* em épocas e doses de glifosato em duas classes de solo.** 2023. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2023. Acesso em: 02 out. 2025.

PACIULLO, D. S. C.; BRIGHENTI, A. M.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T.; SOBRINHO, F. S.; SOUZA, E. M. B.; SILVA, R. B. **Milho em plantio direto sobre palhada de cultivares de *Urochloa ruziziensis* (Kennedy e BRS Integra).** *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, n. 45. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2022. ISSN 0104-9046.

PADILHA, N.S; CECCON, G; ALVES, V.B; NETO NETO, A.L; SILVA, J.F; MAKINO, P. A. **Soybean yield in succession to single and intercropping corn and brachiaria and submitted to different irrigation intervals.** *Revista Engenharia na Agricultura*,

v. 29, art. 66-80, 2021. DOI: 10.13083/reveng.v29i1.11225. Acesso em: 04 dez. 2025.

PAIMEL, A. C. C.; ARAÚJO, E. G. N. N.; MATOS, A. L.; GOMES, M. N.; RODRIGUES, N. S.; SOUSA, A. S.; CABRAL, C. E. A.

Adubação nitrogenada em híbridos de *Brachiaria* spp. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, Curitiba, v. 23, n. 9, p. 1–14, 2025. DOI: 10.55905/oelv23n9-140.

PEDROSA, L.B; TAVEIRA, B.B; LOCARNO, M. **Manejo da brachiaria em consórcio com o milho.** In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA, 2025, Itapetininga. Anais [...]. Itapetininga: IFSP, 2025. Disponível em: <https://eventosacademicos.itp.ifsp.edu.br/index.php/ic/article/view/93>. Acesso em: 05 dez. 2025.

PEREIRA, R. R; GARCIA, I. M; MODESTO, V. C; SEKIYA, B. M. S; SOARES, D. D. A; ANDREOTTI, M. **Soybean performance in succession to the intercropping of maize with marandu grass and/or pigeonpea in an integrated agricultural production system.** *Revista Ceres*, Viçosa, v. 70, n. 1, p. 72-80, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/JCQkxGWRLpShSrxw7ZFNf4h/?format=html&lang=en>. Acesso em: 02 out. 2025.

PEZZINI, R. V; CARGNELUTTI FILHO, A; BEM, C. M. DE; SOUZA, J. M. DE; CHAVES, G. G; NEU, I. M. M; PROCEDI, A. 2019. **Gompertz and Logistic models for morphological traits of sudangrass cultivars during sowing seasons.** *Semina: Ciências Agrárias*, 40(6Supl3), 3399–3418. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n6Supl3p3399>

PIATI, G.L. **Atributos físicos do solo e características agronômicas da soja em sistemas de sucessão e rotação de culturas.** 2022. 61 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2022.

PIRES, G. C; GOTZ, L. F; ALVES, L. A.; SILVA, L. S; GAMA, J. P; DENARDIN, L. G. O; PAVINATO, P. S; TIECHER, T; CARVALHO, P. C. F; SOUZA, E. D. **Fertilization strategies to improve phosphorus availability and soil quality in integrated crop-livestock system in tropical soils.** *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 49, spe1, e0240164, 2025. DOI: 10.36783/18069657rbcs20240164.

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>

PORTES, T. A; CARVALHO, S. I. C; KLUTHCOUSKI, J; CANTARUTTI, R. B. **Adubação e arranjo de plantas no consórcio milho e braquiária.** *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 30, n. 1, p. 25-30, 2000. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/3424/4252>. Acesso em: 02 out. 2025.

R Development core team. 2024. R: **A Language and Environment for Statistical Computing**. The R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <http://www.r-project.org/>

RAMOS JÚNIOR, E. U; RAMOS, E. M; KONZEN, L. M; SILVA, A. F; TARDIN, F. D; FALEIRO, V. O. **Desempenho da soja em sucessão ao consórcio de milho (safra safrinha) com diferentes densidades de *Crotalaria spectabilis***. *Nativa*, v. 7, n. 6, p. 649-655, 2019. DOI: 10.31413/nativa.v7i6.7930. Acesso em: 02 out. 2025.

REHAGRO. **Consórcio milho-braquiária**. Blog Rehagro, s.d. Disponível em: <https://rehagro.com.br/blog/consorcio-milho-braquiaria/>. Acesso em: 02 out. 2025.

RIBEIRO, F. W.; RODRIGUES, C. C.; SILVA, A. C.; ARAÚJO, M. S.; ROCHA, L. G.; BERTI, M. P. S. **Análise econômico-financeira da implantação de soja com sucessão de milho e girassol safrinha**. *Revista Agrotecnologia*, Ipameri, v. 12, n. 1, p. 1–13, 2021. Disponível em: [fabio_matos,+ANÁLISE+ECONÔMICO-FINANCEIRA \(1\).pdf](#).

RICHETTI, A. **Consórcio Milho-Braquiária**. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Agropecuária Oeste; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2013. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/982597/1/LVCONSORCIOMB.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2025.

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, C. A; BERTOLDO, L. M; MAXIMIANO, C. V. **Estudo morfológico do capim-piatã (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã) em pré e pós-pastejo no sistema rotacionado**. *Curso de Agronomia, [NIP.]*, p. 1-20, [2023]. Disponível em: <https://revistas.icesp.br/index.php/Real/article/view/4901>.

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: 05 dez. 2025.

SAPUCAY, M. J. L. da Costa; COELHO, A. E; LOCATELLI, J. L; BRATTI, F; DEBIASI, H; FRANCHINI DOS SANTOS, J. C; BALBINOT JÚNIOR, A. A; ZUCARELI, C. **Performance of soybean cultivated following intercropped corn under varying nitrogen levels**. *Australian Journal of Crop Science*, v. 17, n. 11, p. 847-854, 2023. DOI: 10.21475/ajcs.23.17.11.p3991. Acesso em: 04 dez. 2025.

SEIDEL, E. P; MATTIAS, V; MATTEI, E; CORBARI, F. **Produção de matéria seca e propriedades físicas do solo na consorciação milho e braquiária**. *Scientia Agraria Paranaensis, [S. l.]*, v. 14, n. 1, p. 18–24, 2015. DOI: 10.18188/sap.v14i1.8226. Acesso em: 30 nov. 2025.

SERAFIM, M. E.; BARBOSA, S. M.; ZEVIANI, W. M.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; ROMANO, L. R.; SILVA, B. M. **Bioporos, potencial de descompactação do solo e biomassa de cultivares de *Brachiaria***. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 49, e0240079, 2025. DOI: 10.36783/18069657rbcs20240079.

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: 02 set. 2025.

SILVA, E. C.; TRIVELIN, P. C. O.; BENDASSOLLI, J. A.; CARVALHO, S. J. P.; SILVA, K. S. **Nitrogen uptake and recovery in intercropped corn and palisadegrass**. *Bragantia*, v. 69, n. 1, p. 77-86, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/8kW8zMRdYYjsHLhKMq7fyMv/?lang=pt>. Acesso em: 02 out. 2025.

SILVA, G. S. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; CARDOSO, M. J.; ARAÚJO NETO, R. B. de. **Soil water dynamics and yield in maize and *Brachiaria ruziziensis* intercropping**. *Pesquisa Agropecuária Tropical* [Agricultural Research in the Tropics], Goiânia, v. 50, p. e59809, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/59809>. Acesso em: 4 dec. 2025.

SILVA, J. **Plantas de cobertura de forrageiras tropicais: produção de biomassa, ciclagem de nutrientes, alterações fisiológicas e produtividade da soja**. 2023. 86 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, 2022.

SILVA, L. M.; HABERMANN, E.; COSTA, K. A. P.; COSTA, A. C.; SILVA, J. A. G.; SEVERIANO, E. C.; VILELA, L.; SILVA, F. G.; SILVA, A. G.; MARQUES, B. S.; RODRIGUES, F.; MARTINEZ, C. A. **Integrated systems improve soil microclimate, soybean photosynthesis and growth**. *Frontiers in Plant Science*, Lausanne, v. 16, p. 112-124, 2025. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1234567/>. Acesso em: 02 out. 2025.

SOARES, D. A.; LUPATINI, G. C.; SEKIYA, B. M. S.; MATEUS, G. P.; ANDRIGHETTO, C.; MODESTO, V. C.; SILVA, J. R.; LUZ, J. H. S.; GALINDO, F. S.; CRUSCIOL, C. A. C. **Integrated crop–livestock systems as a strategy for the sustainable production of corn and soybean grain in tropical sandy soils**. *Agronomy*, v. 14, n. 9, p. 2071, 10 Sept. 2024. DOI: 10.3390/agronomy14092071.

SOARES, G. M. **Produção de matéria seca e rendimento de grãos em milho safrinha consorciado com braquiária**. 2022. Dissertação (Graduação em Agronomia) — Universidade Federal do Tocantins, Palmas-TO, 2022. Disponível em: <https://umbu.uft.edu.br/bitstream/11612/7315/1/Geovane%20Macedo%20Soares..pdf>. Acesso em: 04 dez. 2025.

SOUZA, L. F. N. **Consórcio milho-panicum na produtividade de milho e da soja em sucessão**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências – Fitotecnia) – Escola

Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020. Acesso em: 30 nov. 2025.

TIMOSSI, P. C.; DURIGAN, J. C.; LEITE, G. J. **Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto.** *Bragantia*, v. 66, n. 4, 2007. DOI: 10.1590/S0006-87052007000400012.

TORRES, J. L. R.; JÚNIOR, J. M.; JÚNIOR, J. S.; VIEIRA, D. D. S.; SOUZA, Z. M.; ASSIS, R. L.; LEMES, E. M. **Soil physical attributes and organic matter accumulation under no-tillage systems in the Cerrado.** *Soil Research*, v. 57, n. 7, p. 712-718, 2019.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; RODRIGUES JUNIOR, D. J.; LOSS, A. **Production, decomposition of residues and yield of maize and soybeans grown on cover crops.** *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 451-459, jul-set, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/CFFYn4yRwTmM77G8M4xP6LF/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 04 dez. 2025.

VIERA, A. L. V.; SILVA, A. V.; MIRANDA, T. F. D.; FLORENÇO, A. S.; FRANCO, M. E. A.; SILVA, H. B. **Produtividade do milho forrageiro solteiro e em sistema de ILP com a *Brachiaria brizantha*.** In: Jornada Científica e Tecnológica do IFSULDEMINAS, 15., 2023, IFSULDEMINAS. Anais [...], v. 15, n. 1, 2023. Publicado 06 dez. 2023.

WENNECK, G. S.; SAATH, R.; ARAÚJO, L. L.; PEREIRA, G. L.; OLIVEIRA, G. G. F.; SÁ, N. O.; VOLPATO, C. S. **Yield and economic analysis of corn and brachiaria intercropping in the northwestern Paraná.** *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia-MS, v. 8, n. 4, e6163, out./dez.2021. ISSN 2358-6303. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v8i4.6163>.

WENNECK, G.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A.; FREITAS, P. S. L. de; SAATH, R. **Nutritional status of soybean in different agricultural succession systems in the Midwestern Paraná, Brazil.** *Journal of Plant Nutrition*, London, v. 45, n. 7, p. 1032-1044, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2058544>. Acesso em: 02 out. 2025.