



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

MAIKO FRANÇA NUNES

**RESPOSTA DE CULTIVARES DE MILHO (*ZEA MAYS L.*) SOB DUAS DOSES DE
FÓSFORO EM CONSÓRCIO COM CAPIM MARANDU EM SOLO CERRADO**

**PALMAS-TO
2026**

MAIKO FRANÇA NUNES

**RESPOSTA DE CULTIVARES DE MILHO (*ZEA MAYS L.*) SOB DUAS DOSES DE
FÓSFORO EM CONSÓRCIO COM CAPIM MARANDU EM SOLO CERRADO**

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. Edvaldo Vieira Pacheco Sant’Ana

**PALMAS-TO
2026**

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

N972r Nunes, Maiko França
 RESPOSTA DE CULTIVARES DE MILHO (ZEA MAYS L.) SOB
 DUAS DOSES DE FÓSFORO EM CONSÓRCIO COM CAPIM
 MARANDU EM SOLO CERRADO / Maiko França Nunes. – Palmas, TO,
 2026.
 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, 2026.

Orientador: Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'ana

1. Milho. 2. Produtividade. 3. Consórcio Capim-Marandu. I. Vieira
Pacheco Sant'ana, Edvaldo. II. 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 AGRONÔMICA

MAIKO FRANÇA NUNES

**RESPOSTA DE CULTIVARES DE MILHO (ZEA MAYS) SOB DUAS DOSES DE FÓSFORO EM
CONSÓRCIO COM CAPIM MARANDU EM SOLO CERRADO**

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. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'Ana

Aprovado em: 11 de junho de 2026

BANCA AVALIADORA

Prof. Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'Ana
IFTO - Campus Palmas - TO

Profa. Dra. Vanessa David Domingos Valença
IFTO - Campus Palmas - TO

Eng. Agrônomo César William Albuquerque de Sousa
Calcário Milenium

Palmas – TO, 11 de junho de 2026



Documento assinado eletronicamente por **Edvaldo Vieira Pacheco Santana, Coordenador**, em 11/06/2026, às 10:13, 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 **Vanessa David Domingos Valença, Servidor**, em 11/06/2026, às 10:16, 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 **Cesar William Albuquerque de Sousa, Usuário Externo**, em 15/06/2026, às 19:22, 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.ifto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3212810** e o código CRC **EBCE37AC**.



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.ifto.edu.br — reitoria@ifto.edu.br

Referência: Processo nº 23236.012565/2026-19

SEI nº 3212810

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por me manter firme e focado na busca por alcançar meus objetivos durante todos esses anos de estudo.

A minha mãe Cleidiana, por me incentivar e sempre ajudar nos desafios que ocorreram durante meu processo de formação acadêmico.

Ao professor Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'Ana por ter me orientado e prestado todo o apoio necessário para a conclusão desse trabalho, pela sua paciência, e seus conselhos que foram de extrema importância para mim.

Aos meus amigos e acadêmicos, Fellipe Goullart, Ellennara Ribeiro Rocha, Daniela Cristina Vieira Pereira, Fernanda Mascarenhas, Deborah Cardoso, Mateus Santos, Elivania Coelho, Ana Clara Dionisio, Maycon Motta, Rafael Coelho, Jennifer Curvina, pela parceria e ajuda em todos os momentos que vivi durante esse período de formação.

Em especial agradeço ao meu amigo Luis Claudio, que me ajudou em todo o processo de desenvolvimento do trabalho.

A todos os meus professores, pelos ensinamentos passados a mim que me moldaram e me fizeram alguém melhor, não só no âmbito acadêmico, mas na vida de forma geral.

A todos os meus colegas de turma, pessoas que convivi durante todos esses anos de curso, pela companhia, pelas conversas, por estarem nos bons e maus momentos, sempre um ajudando o outro.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins Campus Palmas, essencial e de extrema importância em todo o meu processo de formação.

*“A terra produz fruto por si mesma: primeiro
a folha, depois a espiga, e, então, o grão
cheio na espiga.”*

Marcos 4:28

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho produtivo de duas cultivares de milho (*Zea mays* L.), GLYFOS RR e AG1051, sob duas doses de fósforo (0 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅) em consórcio com capim-marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu), conduzido em solo típico do Cerrado, da área experimental de forragicultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins-*Campus* Palmas. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 parcelas. Foram avaliadas a produtividade de grãos do milho (kg ha⁻¹) e, para o capim-marandu, a altura de planta, o teor relativo de clorofila e a massa seca da parte aérea, em duas coletas realizadas aos 30 e 73 dias após a semeadura. A análise química do solo, realizada após a colheita, revelou teores de fósforo disponível extremamente baixos (0,03 e 0,27 mg dm⁻³ pelo método Mehlich-1), saturação por bases inferior a 50% e presença de alumínio tóxico, evidenciando condição de baixa fertilidade característica dos latossolos do Cerrado. A produtividade média de grãos foi de 4.021,15 kg ha⁻¹, sem diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, resultado atribuído ao conjunto de fatores limitantes que atuaram ao longo do ciclo, incluindo a elevada capacidade de fixação de fósforo do solo, o déficit hídrico registrado nos meses de março e abril de 2025 e a competição imposta pela forrageira consorciada. Para o capim-marandu, a massa seca da parte aérea foi a única variável a apresentar diferença significativa entre os tratamentos nas duas coletas, com maior biomassa observada nas parcelas sem adubação fosfatada, comportamento associado à maior supressão exercida pelo milho mais desenvolvido nas parcelas adubadas. Conclui-se, portanto, que a dose única de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ não foi suficiente para superar as limitações nutricionais e hídricas do solo nas condições avaliadas, reforçando a necessidade de estratégias de adubação corretiva e manejo hídrico adequado para a viabilização de sistemas produtivos de milho consorciado com capim-marandu no Cerrado tocantinense.

Palavras-chave: *Zea mays*. Fósforo. *Urochloa brizantha*. Consórcio milho-forrageira. Produtividade de grãos.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the productive performance of two maize (*Zea mays* L.) cultivars, GLYFOS RR and AG1051, under two phosphorus rates (0 and 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅) intercropped with marandu palisadegrass (*Urochloa brizantha* cv. Marandu), conducted in a typical Cerrado soil at the forage science experimental area of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Tocantins — Campus Palmas. A randomized complete block design was adopted, with four treatments and five replications, totaling 20 plots. Maize grain yield (kg ha⁻¹) was evaluated, and for marandu palisadegrass, plant height, relative chlorophyll content, and shoot dry matter production were assessed at two sampling times, 30 and 73 days after sowing. Soil chemical analysis carried out after harvest revealed extremely low levels of available phosphorus (0.03 and 0.27 mg dm⁻³ by the Mehlich-1 method), base saturation below 50%, and the presence of toxic aluminum, indicating the low fertility conditions characteristic of Cerrado Oxisols. Mean grain yield was 4,021.15 kg ha⁻¹, with no statistically significant differences among treatments, a result attributed to a set of limiting factors throughout the crop cycle, including high soil phosphorus fixation capacity, water deficit recorded in March and April 2025, and competition imposed by the intercropped forage. For marandu palisadegrass, shoot dry matter production was the only variable to show significant differences among treatments at both sampling times, with greater biomass observed in plots without phosphorus fertilization, a response associated with greater suppression exerted by the more developed maize plants in fertilized plots. It was therefore concluded that a single application of 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅ was insufficient to overcome the nutritional and water limitations of the soil under the evaluated conditions, reinforcing the need for corrective fertilization strategies and adequate water management to enable productive maize–palisadegrass intercropping systems in the Tocantins Cerrado.

Keywords: *Zea mays*. Phosphorus. *Urochloa brizantha*. Maize-forage intercropping. Grain yield.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Vista geral da área experimental composta por 20 parcelas utilizadas para a condução do experimento.....	25
Figura 2. Semeadura do milho na linha de plantio dia 26/02/2025.....	25
Figura 3. Semeadura do Capim Marandu dia 28/03/2025.....	26
Figura 4. Adubação de base realizada nas parcelas no dia 27/02/2025.....	27
Figura 5. A adubação de cobertura realizada ao longo do desenvolvimento vegetativo da cultura, com aplicação de 20 kg ha ⁻¹ de N.....	27
Figura 6. Proteção das espigas com o uso de saco de papel dia 05/05/2025.....	28
Figura 7. Primeira coleta de dados realizada do Capim Marandu dia 28/04/2025: TRC com clorofilômetro.....	30
Figura 8. Coleta do capim Marandu e identificação em sacos de papel dia 28/04/2025.....	30
Figuras 9 e 10. Material coletado das parcelas secando em estufa de ventilação forçada a 65 °C por 48 horas dia 28/04/2025, e pesagem após 48 horas de secagem em estufa dia 30/04/2025.....	31
Figura 11. Vista aérea da parcela do bloco 4 após a coleta da parte aérea do capim marandu dia 11/06/2025.....	32
Figura 12. Sintomas visuais de deficiência de fósforo observados nas plantas de milho no estágio V4.....	32
Figura 13. Colheita manual das espigas realizada dia 11/06/2025.....	33
Figura 14. Espigas colhidas.....	33
Figura 15. Espigas colhidas.....	34
Figura 16. Espigas colhidas.....	34
Figura 17. Espigas colhidas.....	34
Figura 18. Larva-alfinete (<i>Diabrotica speciosa</i>).....	35
Figura 19. Pulgão (<i>Rhopalosiphum maidis</i>).....	36
Figura 20. Percevejo-cowboy (<i>Leptoglossus zonatus</i>).....	36
Figura 21. Isca formicida granulada utilizada no controle de formigas cortadeiras.....	37
Figura 22. Deficiência nutricional de P na parte aérea do milho na fase vegetativa V4 (20 dias após a semeadura das sementes (DAS)).....	38
Gráfico 1. Chuva acumulada mensal janeiro a maio/2025.....	39
Gráfico 2. Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) das cultivares de milho Glyfos RR e AG1051, sob duas doses de fósforo em consórcio com Capim Marandu.....	48

LISTA DE TABELAS

Croqui 1. Esquema do delineamento experimental em blocos ao acaso (DBC), composto por 4 tratamentos (T1 a T4) e 5 repetições, totalizando 20 parcelas (P1 a P20).....	23
Tabela 1. Síntese dos resultados da análise química e física do solo da área experimental.....	41
Tabela 2. Altura de planta (AP), Produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e Teor relativo de clorofila (TRC) do Capim Marandu 30 DAS.....	43
Tabela 3. Altura de planta (AP), Produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e Teor relativo de clorofila (TRC) do Capim Marandu 73 DAS.....	46
Tabela 4. Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) das cultivares de milho Glyfos RR e AG1051, sob duas doses de fósforo em consórcio com capim-marandu.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Abreviatura/Sigla	Significado
Al^{3+}	Alumínio (íon)
Ca^{2+}	Cálcio (íon)
C/N	Relação carbono/nitrogênio
cmolc dm^{-3}	Centimol de carga por decímetro cúbico
CV	Coeficiente de variação
DAS	Dias após a semeadura
DMS	Diferença mínima significativa
g dm^{-3}	Gramas por decímetro cúbico
g kg^{-1}	Gramas por quilograma
g m^{-2}	Gramas por metro quadrado
H + Al	Acidez potencial (hidrogênio + alumínio)
K^{+}	Potássio (íon)
K_2O	Óxido de potássio
kg ha^{-1}	Quilogramas por hectare
m	Saturação por alumínio
Mg^{2+}	Magnésio (íon)
mg dm^{-3}	Miligramas por decímetro cúbico
mm	Milímetros
mm/cm	Milímetros por centímetro
N	Nitrogênio
P	Fósforo
P_2O_5	Pentóxido de difósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
S- SO_4^{2-}	Enxofre na forma de sulfato
t ha^{-1}	Toneladas por hectare
V	Saturação por bases (%)
V4	Estádio vegetativo 4 do milho

LISTA DE SIGLAS

Abreviatura/Sigla	Significado
ANOVA	Análise de Variância
AP	Altura de planta
ATP	Adenosina trifosfato
C.O.	Carbono orgânico
CaCl ₂	Cloreto de cálcio
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CTC	Capacidade de troca catiônica
DBC	Delineamento em Blocos Casualizados
DNA	Ácido desoxirribonucleico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
ILP	Integração Lavoura-Pecuária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
M.O.	Matéria orgânica
MSPA	Massa seca da parte aérea
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
P(meh)	Fósforo pelo método Mehlich-1
PRNT	Poder relativo de neutralização total
RNA	Ácido ribonucleico
SB	Soma de bases
SPAD	Soil Plant Analysis Development
SPD	Sistema de plantio direto
TRC	Teor relativo de clorofila

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 A cultura do milho (<i>Zea mays L.</i>).....	14
2.2 Importância do fósforo na nutrição do milho.....	15
2.3 Dinâmica do fósforo em solos de Cerrado	16
2.4 Integração lavoura-pecuária: consórcio milho e capim-marandu	17
2.5 Efeito da adubação fosfatada no sistema consorciado	19
2.6 Cultivares de milho: aspectos genéticos e de desempenho.....	20
2.7 Sistema plantio direto, cobertura do solo e ILP no Cerrado	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1 Caracterização da Área Experimental.....	22
3.2 Histórico da Área e Preparo do Solo.....	22
3.3 Delineamento Experimental e Tratamentos.....	23
3.4 Semeadura e Implantação do Consórcio.....	24
3.5 Adubação	26
3.6 Proteção de espigas	27
3.7 Variáveis Avaliadas.....	28
3.7.1 Variáveis da Cultura do milho	28
3.7.2 Variáveis da Cultura do Capim-Marandu	28
3.8 Análise Estatística dos Dados	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta da família Poaceae, originária do teosinto (*Zea mays* spp. mexicana), cultivada há mais de 8.000 anos e atualmente uma das espécies mais amplamente cultivadas no mundo, com grande importância em países como Estados Unidos, China, Índia, Brasil, França, Indonésia e África do Sul. O milho destaca-se como importante fonte energética na alimentação humana e animal (SILVA, 2019).

O fósforo é nutriente essencial ao desenvolvimento vegetal, atuando em processos como fotossíntese, divisão celular, transferência de energia e síntese de ácidos nucleicos (BORGES, 2018). Embora exigido em quantidade absoluta menor que nitrogênio e potássio, o fósforo apresenta baixa eficiência de absorção pelo milho, em razão de sua reduzida mobilidade no solo e de sua forte interação com alumínio e ferro, que formam compostos de baixa solubilidade (ALMEIDA, 2019). Em solos de Cerrado, essa limitação é agravada pela escassez natural de P nos materiais de origem e pelos processos de adsorção e precipitação do nutriente com óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, predominantes em solos ácidos e altamente intemperizados, o que reduz substancialmente sua disponibilidade às plantas (VITORINO, 2020). Em razão dessa dinâmica, mesmo sendo um dos macronutrientes menos exigidos em termos absolutos, o fósforo costuma demandar doses relativamente elevadas de adubação em áreas com histórico de deficiência (DE OLIVEIRA, 2022).

Para que o milho expresse seu potencial produtivo, fatores bióticos, como a qualidade genética das sementes, e abióticos, como solo, clima e manejo, são determinantes; estima-se que até 50% do rendimento final possa ser atribuído às características genéticas da cultivar utilizada, o que reforça a importância da seleção de materiais adaptados às condições da área de cultivo (RUFF, 2023). O manejo do solo e a forma de aplicação dos fertilizantes fosfatados também influenciam diretamente a disponibilidade do nutriente e o desenvolvimento do sistema radicular, interferindo na eficiência da adubação (BASTIANI, 2024).

O Cerrado ocupa aproximadamente 23% do território nacional e consolida-se como uma das principais fronteiras agrícolas do país (SANO et al., 2019), apresentando solos naturalmente pobres em nutrientes, particularmente em fósforo, e de elevada acidez, o que torna a correção do solo e a adubação fosfatada estratégica essenciais para a viabilidade da produção de milho (RIBEIRO, 2017). Nesse contexto, o consórcio entre milho e forrageiras tropicais, como a *Urochloa brizantha* cv. Marandu, consolida-se como estratégia de integração lavoura-pecuária (ILP), promovendo cobertura do solo, maior porosidade,

redução da erosão e incremento do carbono orgânico e do nitrogênio total do solo, com potencial para elevar a produtividade em sistemas de plantio direto (FACCIN, 2015).

Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho produtivo de duas cultivares de milho, GLYFOS RR e AG1051, submetidas a duas doses de P_2O_5 , em consórcio com capim-marandu, nas condições edafoclimáticas do Cerrado tocantinense.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do milho (*Zea mays* L.)

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais importantes do mundo, destacando-se pelo seu elevado potencial produtivo e pela diversidade de usos, que vão desde a alimentação humana e animal até a produção de biocombustíveis e insumos industriais. Pertencente à família Poaceae, o milho é uma planta C4, altamente eficiente na fixação de carbono, o que lhe confere elevada capacidade fotossintética e produtividade em condições adequadas de manejo. Essas características fazem do milho uma das espécies mais cultivadas e estudadas no mundo (MAGALHÃES; DURÃES; CARNEIRO, 2002).

No Brasil, o milho ocupa posição estratégica no agronegócio nacional, figurando entre os maiores produtores e exportadores mundiais do grão, com destaque para as regiões do Centro-Oeste, Sudeste e Sul. A produção total de milho na safra 2023/2024 encerrou em 115,72 milhões de toneladas, sendo a segunda maior safra da série histórica, mesmo com adversidades climáticas registradas em diversas regiões produtoras (CONAB, 2024). Para a safra 2024/2025, a estimativa aponta novo recorde de 126,9 milhões de toneladas, o que consolidaria o Brasil como segundo maior produtor mundial, atrás apenas dos Estados Unidos, reforçando a importância estratégica do grão para a economia nacional (CONAB, 2025).

O Cerrado brasileiro representa uma das principais fronteiras agrícolas para a expansão da cultura do milho, especialmente no sistema de safrinha (segunda safra). Contudo, as condições edáficas características dessa região, como solos ácidos com alta saturação de alumínio e baixos teores de fósforo disponível, representam desafios consideráveis para a produtividade da cultura (SOUSA; LOBATO, 2004). Estudos conduzidos no Tocantins demonstram variabilidade expressiva no desempenho de híbridos de milho em função do tipo de solo e das condições climáticas locais, reforçando a necessidade de avaliações regionais contínuas para a recomendação segura de cultivares

adequadas à realidade do Cerrado tocantinense (COSTA, 2023).

A escolha da cultivar adequada é fator determinante para o sucesso da lavoura de milho. Atualmente, o mercado oferece ampla gama de cultivares híbridos simples, duplos, triplos e variedades de polinização aberta, cada qual com características específicas de ciclo, adaptação e potencial produtivo. O desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições do Cerrado, com tolerância ao estresse hídrico e maior eficiência no uso de nutrientes, tem sido objeto de intensa pesquisa pelas instituições públicas e privadas (CRUZ, 2010). Pesquisas recentes realizadas pela Embrapa Milho e Sorgo em experimentos conduzidos no Tocantins na safra 2022/2023 evidenciaram diferenças de produtividade entre Latossolo e Plintossolo que impactam diretamente a recomendação regional, demonstrando que a resposta produtiva dos híbridos varia significativamente em função do tipo de solo (COSTA, 2023).

2.2 Importância do fósforo na nutrição do milho

O fósforo (P) é um macronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, desempenhando funções vitais nos processos de transferência de energia (ATP e ADP), síntese de ácidos nucleicos, composição de fosfolipídios de membranas celulares e ativação de enzimas (TAIZ; ZEIGER, 2013). Na cultura do milho, a deficiência de fósforo resulta em redução do crescimento radicular, atraso na floração, diminuição do número de grãos por espiga e redução significativa na produtividade final. Entre os sintomas visuais mais característicos destacam-se a coloração arroxeada nas folhas, principalmente nos pecíolos e nervuras da face abaxial, além do estiolamento das plantas jovens (GRANT et al., 2001; GONÇALVES, 2022).

O fósforo é o nutriente de menor mobilidade no solo, movendo-se principalmente por difusão em distâncias muito curtas, da ordem de milímetros. Essa baixa mobilidade determina que a absorção radicular seja o principal mecanismo de aquisição do nutriente pelas plantas, tornando a exploração do volume de solo pelas raízes um fator crítico para a eficiência de uso do fósforo (MALAVOLTA, 2006). No Brasil, os gastos com adubação fosfatada podem representar até 15% dos custos totais de produção do milho, evidenciando a importância econômica do manejo eficiente desse nutriente para a viabilidade da atividade produtiva.

A adubação fosfatada é uma das práticas de maior impacto no rendimento do milho, especialmente em solos de Cerrado, onde os teores naturais de fósforo disponível são muito

baixos. Doses adequadas promovem incrementos significativos na produtividade de grãos, na massa seca da parte aérea e no índice de colheita, sendo que as doses recomendadas variam em função do teor inicial do nutriente no solo, da expectativa de produtividade e do sistema de cultivo adotado (SOUSA; LOBATO, 2004). A adubação de correção pode atingir 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 e a de manutenção situar-se entre 40 e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 em solos de Cerrado com baixo teor de P, conforme recomendações estabelecidas para a região (EMBRAPA, 2006).

Pesquisa conduzida em Latossolo Amarelo no Cerrado, avaliando a resposta do milho de segunda safra à adubação fosfatada com doses de 0 a 300 kg ha^{-1} de P_2O_5 , demonstrou que variáveis como índice SPAD, altura de plantas, diâmetro do colmo, número de grãos por fileira, massa de mil grãos e produtividade responderam de forma significativa, ajustando-se ao modelo quadrático de regressão (GONÇALVES, 2018). Fertilizantes de liberação controlada, como os revestidos com polímeros, têm se destacado como alternativa eficiente para melhorar a disponibilização gradual do fósforo e a produtividade do milho em comparação com fertilizantes convencionais, demonstrando potencial para o manejo nutricional sustentável em solos tropicais (ROCHA et al., 2024).

2.3 Dinâmica do fósforo em solos de Cerrado

Os solos do Cerrado, predominantemente Latossolos e Neossolos, são caracterizados por elevada acidez, alta capacidade de adsorção de fósforo e baixa disponibilidade natural deste nutriente para as plantas. A grande capacidade de adsorção é devida à alta concentração de óxidos de ferro e alumínio, gibbsita, goethita e hematita, na fração argila desses solos, os quais formam complexos de alta estabilidade com os íons fosfato (H_2PO_4^- e HPO_4^{2-}). Minerais de argila 1:1, óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro são os principais responsáveis pela adsorção do nutriente, tornando grande parte do fósforo aplicado via adubação indisponível para as plantas (NOVAIS; SMYTH, 1999).

A adsorção de fósforo em solos do Cerrado pode ser dividida em dois processos: adsorção rápida (reversível), que ocorre nas primeiras horas após a aplicação do fertilizante, e adsorção lenta (irreversível ou de difícil reversão), denominada fixação de fósforo, que ocorre ao longo do tempo. A fixação reduz significativamente a disponibilidade do nutriente para as plantas, tornando necessárias doses elevadas de adubação fosfatada para suprir adequadamente a demanda das culturas (SOUSA; LOBATO, 2004). Estudo conduzido em Palmas-TO com milho cultivado em vasos sob doses crescentes de fósforo em Plintossolo

Pétrico concrecionário confirmou que os solos do Cerrado requerem técnicas de manejo eficientes para maximizar a disponibilidade do nutriente, com reflexos diretos na produtividade da cultura (SILVA, 2022).

A correção do pH do solo pela calagem é uma estratégia fundamental para reduzir a adsorção de fósforo e aumentar sua disponibilidade. A elevação do pH de 4,5 para 6,0 pode reduzir em até 50% a capacidade máxima de adsorção de fósforo, aumentando a concentração do nutriente na solução do solo e, conseqüentemente, sua absorção pelas plantas (RAIJ, 1997). A matéria orgânica do solo também exerce papel relevante nessa dinâmica, por meio da competição de ânions orgânicos pelos sítios de adsorção na superfície dos óxidos, reduzindo a fixação e aumentando a disponibilidade do nutriente para as culturas (SANTOS, 2008).

Pesquisas realizadas com inoculantes microbianos solubilizadores de fósforo em Latossolo Vermelho-Amarelo demonstraram o potencial desses microrganismos como alternativa complementar à adubação fosfatada convencional, com reflexos positivos na produtividade do milho e perspectivas importantes para a sustentabilidade da fertilização fosfatada em solos tropicais (PEREIRA, 2024). De forma geral, a aplicação continuada de fósforo ao longo de sucessivos cultivos contribui para que o solo adquira caráter-fonte de fósforo mais pronunciado, reduzindo gradualmente a necessidade de doses corretivas elevadas e favorecendo a eficiência econômica da adubação fosfatada ao longo do tempo (SOUSA; LOBATO, 2004).

2.4 Integração lavoura-pecuária: consórcio milho e capim-marandu

A integração lavoura-pecuária (ILP) é um sistema de produção que visa à diversificação das atividades agropecuárias na mesma área, de forma alternada ou simultânea. O consórcio de milho com forrageiras do gênero *Urochloa* (anteriormente denominado Brachiaria) é um dos modelos mais adotados no Brasil, especialmente no Cerrado, por apresentar vantagens econômicas, ambientais e agrônomicas relevantes (KLUTHCOUSKI, 2003). Estudos de longa duração conduzidos pela Embrapa Agropecuária Oeste ao longo de 30 anos demonstraram que a ILP permite a diversificação da renda, melhora significativamente a qualidade do solo e aumenta a resiliência climática e econômica da propriedade produtiva (SALTON, 2015).

O capim-marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) é a forrageira mais amplamente utilizada nos sistemas de ILP no Brasil. Trazido do Zimbábue na década de 1980 e adaptado

às condições brasileiras pela Embrapa, o capim-marandu chegou a representar até 50% das áreas de pastagens cultivadas no país, em razão de sua resistência à cigarrinha-das-pastagens, alto valor forrageiro, elevada produção de massa verde e de sementes viáveis (O PRESENTE RURAL, 2025). Sua rusticidade, capacidade de rebrota após a colheita do milho e aceitabilidade pelos animais fazem dele uma das forrageiras mais adequadas para a formação ou renovação de pastagens em consórcio no Cerrado, especialmente quando associado à cultura do milho (MACEDO, 2009).

No sistema de consórcio milho-capim, a forrageira é semeada simultaneamente ou em operação sequencial à cultura principal. Após a colheita do milho, o capim se desenvolve e forma a pastagem, que poderá ser utilizada na pecuária ou permanecer como cobertura do solo para o sistema plantio direto.

Esse arranjo permite ao produtor amortizar o custo de implantação da pastagem com a receita gerada pela venda dos grãos de milho, tornando o sistema mais viável economicamente (BORGHI; CRUSCIOL, 2007). Pesquisas em consórcio de milho com diferentes espécies de *Urochloa* demonstram que a *U. brizantha* foi a forrageira que mais acumulou matéria seca, elevando o potencial do sistema para incrementar a matéria orgânica do solo, reciclar nutrientes e produzir forragem ou palhada para plantio direto (AGROADVANCE, 2024).

A competição por recursos entre o milho e o capim-marandu é uma preocupação importante no manejo do consórcio. Luz, água e nutrientes são os principais fatores de competição, e estratégias como a defasagem na época de semeadura da forrageira, o uso de herbicidas seletivos em subdoses e o controle da densidade de semeadura do capim são amplamente recomendadas para minimizar os efeitos negativos sobre a produtividade do milho (KLUTHCOUSKI; COBUCCI, 2010). Flores et al. (2016) observaram que a produtividade do milho em consórcio com *B. brizantha* foi equivalente à do cultivo solteiro quando se adotou manejo adequado de herbicidas e defasagem na semeadura da forrageira, demonstrando que o êxito do sistema depende da adoção de estratégias integradas de manejo químico e cultural.

No contexto do estado do Tocantins, revisão da literatura sobre os fundamentos e características do sistema de integração lavoura-pecuária estadual destacou as potencialidades da ILP para a sustentabilidade produtiva da região, marcada por solos de Cerrado com limitações de fertilidade natural e regime hídrico variável, sinalizando a necessidade de pesquisas continuadas que subsidiem as recomendações técnicas regionais (OTAVIO CABRAL NETO, 2024).

2.5 Efeito da adubação fosfatada no sistema consorciado

Em sistemas de consórcio milho-forrageira, a adubação fosfatada desempenha papel duplo: suprir a demanda do milho durante o ciclo produtivo e fornecer fósforo residual para o estabelecimento e crescimento inicial da forrageira. A eficiência da adubação fosfatada no sistema consorciado depende da dose aplicada, da fonte utilizada, do método de aplicação e das características do solo (SOUSA; LOBATO, 2004). O rendimento forrageiro da *U. brizantha* cv. Marandu é positivamente influenciado por doses crescentes de fósforo, com impacto significativo na produção de matéria seca, no número de perfilhos e na produção de raízes e folhas, conforme evidenciado em experimentos conduzidos em casa de vegetação, demonstrando a sensibilidade da forrageira à disponibilidade desse nutriente (INFOTECA-E, 2010).

Pesquisas têm demonstrado que doses crescentes de fósforo favorecem tanto a produção de grãos do milho quanto o estabelecimento e a massa seca do capim-marandu em consórcio. Contudo, a resposta das culturas às doses de fósforo pode ser diferenciada em função das condições edáficas e climáticas de cada região, tornando indispensável a realização de estudos locais para subsidiar as recomendações de adubação (CECCON, 2013). A localização do adubo fosfatado também exerce influência sobre a produtividade do sistema consorciado, sendo que o posicionamento intra-sulco ou inter-sulco do milho pode interferir no crescimento e desenvolvimento da forrageira (RENDIMENTO DO CONSÓRCIO, 2022).

A aplicação de fósforo no sulco de semeadura (*starter*) ou em faixas laterais ao sulco é uma estratégia que melhora a eficiência da adubação, reduzindo o contato do fertilizante com o solo e, conseqüentemente, a fixação do nutriente. Estudos conduzidos em Mato Grosso demonstraram que a aplicação no sulco de semeadura promove melhor desempenho agrônômico do milho em solos tropicais, com reflexo positivo no crescimento e na produtividade (MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO, 2026). Trabalho conduzido no IF Goiano mostrou que a aplicação de 100% ou 75% da dose de fósforo no sulco de plantio resultou em melhor desenvolvimento e maior produção de grãos do milho, indicando que o manejo do posicionamento do adubo é fator relevante para a eficiência do sistema produtivo (CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARY JOURNAL, 2023).

A interação entre doses de fósforo e cultivares de milho pode ser significativa, uma vez que cultivares com maior eficiência no uso de nutrientes podem apresentar respostas

distintas à adubação fosfatada. Parentoni e Souza Júnior (2008) evidenciaram variabilidade genética expressiva entre cultivares de milho para eficiência de absorção e utilização de fósforo, ressaltando a importância de avaliar o desempenho de diferentes cultivares sob distintas disponibilidades do nutriente. Vieira (2023) avaliou o desenvolvimento do milho sob diferentes fontes de fósforo e reforçou que a escolha da fonte e da dose adequadas influencia significativamente os componentes de produção da cultura, apontando para a necessidade de estudos que integrem cultivares e fontes nutricionais em condições regionais específicas.

2.6 Cultivares de milho: aspectos genéticos e de desempenho

O desenvolvimento de cultivares de milho tem avançado substancialmente nas últimas décadas, impulsionado pelo melhoramento genético clássico e, mais recentemente, pela biotecnologia. Os híbridos simples, resultantes do cruzamento entre duas linhagens puras, apresentam o mais alto potencial produtivo, mas são também os mais exigentes em termos de manejo e insumos. Os híbridos duplos e triplos, por sua vez, oferecem maior estabilidade produtiva e menor custo de produção de sementes, características que os tornam alternativas relevantes para diferentes sistemas produtivos (CRUZ, 2010).

A interação genótipo $\times$ ambiente ($G \times E$) é um fenômeno de grande relevância na avaliação de cultivares de milho. Essa interação refere-se à variação diferencial no desempenho dos genótipos em diferentes ambientes solos, climas e manejo, o que torna necessária a realização de ensaios multilocais para a recomendação precisa de cultivares para cada região (RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN, 1993). No estado do Tocantins, experimentos da Embrapa conduzidos na safrinha de 2023 em dois ambientes distintos Paraíso do Tocantins e Pium demonstraram diferenças significativas na produtividade de híbridos de milho em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Petroplântico e Plintossolo Pétrico Concrecionário típico, evidenciando a necessidade de seleção de cultivares adaptadas a cada tipo de solo (COSTA, 2023).

No Cerrado, a seleção de cultivares adaptadas às condições locais é fundamental para maximizar a produtividade. Características como tolerância ao estresse hídrico, resistência a doenças foliares, adequada arquitetura de planta e eficiência no uso de nutrientes são atributos desejáveis para cultivares destinadas ao plantio nessa região (EMBRAPA, 2006). A safra 2022/2023 trouxe ao mercado novos híbridos de milho desenvolvidos especificamente para a safrinha nas regiões tropicais do Brasil, com destaque

para materiais de alto potencial produtivo, ótima estabilidade, sanidade, resistência às principais doenças e amplitude geográfica abrangendo o Tocantins, ampliando as opções disponíveis para os produtores da região (NOTÍCIAS AGRÍCOLAS, 2022).

A avaliação do desempenho produtivo de cultivares de milho envolve a análise de diversas variáveis, entre as quais se destacam: altura de planta e de inserção de espiga, número de plantas acamadas e quebradas, comprimento e diâmetro de espiga, número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira, massa de cem grãos e produtividade de grãos. Essas variáveis são influenciadas tanto pelo genótipo quanto pelo ambiente e pelas interações entre eles (SANTOS, 2014), e sua mensuração adequada é fundamental para a correta interpretação dos resultados experimentais e a recomendação segura de cultivares em cada contexto produtivo.

2.7 Sistema plantio direto, cobertura do solo e ILP no Cerrado

O sistema plantio direto (SPD) é uma das estratégias mais eficientes para a conservação do solo e da água no Cerrado, contribuindo para a redução da erosão, a manutenção da matéria orgânica e a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. No SPD, a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo é fundamental para a proteção contra o impacto das chuvas, a manutenção da umidade e o aporte de matéria orgânica (LANDERS, 2007). Pesquisas da Embrapa conduzidas no Cerrado evidenciaram que solos sob SPD durante cinco anos e sob ILP por 15 anos apresentaram mudanças benéficas na composição de fungos e bactérias do solo, com funções importantes associadas ao controle biológico natural de doenças, demonstrando o potencial dessas estratégias para a sustentabilidade produtiva (EMBRAPA, 2024).

Especificamente no sistema ILP, a diversidade global de fungos no solo aumentou ao longo de 15 anos de integração, superando inclusive a da vegetação nativa adjacente, o que posiciona a ILP como uma das tecnologias capazes de melhorar a saúde do solo de forma sustentável (EMBRAPA, 2024). A introdução de pastagens como a braquiária, que posteriormente se transforma em palhada para o plantio direto, ajuda a reduzir a compactação do solo e contribui para a manutenção da matéria orgânica e da umidade, reforçando o papel do consórcio milho-capim-marandu na intensificação sustentável da agricultura no Cerrado (SALTON, 2015).

O consórcio milho-capim-marandu é particularmente interessante no contexto do SPD, pois a forrageira produz grande quantidade de massa seca após a colheita do milho,

formando uma cobertura eficiente do solo. A palhada do capim-marandu tem alta relação C/N e elevada persistência, garantindo cobertura do solo por período prolongado e favorecendo a manutenção das condições ideais para o plantio direto na safra seguinte, com benefícios diretos para a estrutura e a biologia do solo (BORGHI; CRUSCIOL, 2007).

A adubação fosfatada adequada é fundamental para garantir o vigor inicial do capim-marandu, especialmente em solos do Cerrado com baixo teor de fósforo disponível. A produção de matéria seca da forrageira em consórcio com o milho é influenciada por fatores como a dose de fósforo, a cultivar de milho utilizada, a época e a densidade de semeadura do capim, a disponibilidade hídrica e o manejo de herbicidas (MACEDO, 2009). Resultados de longo prazo obtidos em sistemas de ILP no Cerrado demonstram que sistemas integrados, com adubação de manutenção moderada das pastagens, são capazes de incrementar a disponibilidade de fósforo de forma economicamente viável, com benefícios cumulativos para a fertilidade do solo e para a sustentabilidade produtiva da propriedade ao longo do tempo (MACEDO, 2009).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área Experimental

O experimento foi conduzido na área experimental de Forragicultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO) – *Campus* Palmas, localizado no município de Palmas, estado do Tocantins, nas coordenadas geográficas de latitude 10°11'56,87" S e longitude 48°18'34,97" O, a uma altitude aproximada de 280 m.

O clima da região é classificado como Aw (tropical úmido com estação seca), segundo a classificação de Köppen, com precipitação média anual em torno de 1.500 mm, concentrada entre os meses de outubro e maio (ALVARES, 2013). O solo da área experimental é típico do Bioma Cerrado, caracterizado por elevada acidez (pH entre 4,5 e 5,5), alta concentração de óxidos de ferro e alumínio e baixa disponibilidade natural de fósforo, com teores inferiores a 0,59 mg dm⁻³, conforme análise realizada pelo método Mehlich-1 (PEREIRA, 2025).

3.2 Histórico da Área e Preparo do Solo

A área experimental foi utilizada por dois anos consecutivos com cultivo de capim massai (*Megathyrsus maximus* cv. Massai). Anteriormente ao estabelecimento do

experimento, realizou-se a correção do solo com calcário dolomítico (PRNT 92,2%) e adubação de base com fertilizante mineral NPK 05-25-15. No ano de 2025, procedeu-se ao revolvimento do solo para incorporação dos nutrientes e nova aplicação de calcário (575 kg), nos dias 12 a 14 de fevereiro de 2025.

3.3 Delineamento Experimental e Tratamentos

O delineamento experimental adotado foi o de Blocos Casualizados (DBC), com 4 tratamentos e 5 repetições, totalizando 20 parcelas experimentais. Cada parcela apresentou dimensões de 2,4 m × 2,4 m (área total de 5,76 m²), sendo composta por quatro linhas de milho, espaçadas em 0,60 m, com 12 sementes por linha, totalizando 48 plantas por parcela, estimando uma população de 83.333 plantas por hectare. O capim-marandu foi semeado em sulcos nas entrelinhas do milho, utilizando 125 g de sementes da forrageira por parcela, sendo aplicada 41,6 g de sementes da forrageira por sulco. A área útil de cada parcela foi composta pelas duas linhas centrais, com exclusão das linhas de bordadura e das extremidades de cada linha, a fim de minimizar o efeito de bordadura sobre as avaliações (PIMENTEL-GOMES, 2023).

Os tratamentos foram distribuídos conforme o esquema apresentado no Croqui 1:

Croqui 1. Delineamento experimental em blocos ao acaso (DBC) com 4 tratamentos e 5 repetições. IFTO – Campus Palmas, 2025.

Bloco I	Bloco II	Bloco III	Bloco IV	Bloco V
P11 – T3	P2 – T1	P7 – T2	P12 – T3	P19 – T4
P17 – T4	P16 – T4	P13 – T3	P4 – T1	P9 – T2
P1 – T1	P10 – T2	P20 – T4	P8 – T2	P5 – T1
P6 – T2	P15 – T3	P3 – T1	P14 – T3	P18 – T4

Fonte: Autor, (2026).

Os tratamentos foram definidos com base em duas cultivares de milho, Cultivar milho híbrido comercial Glyfos RR (Grãos), Cultivar milho híbrido AG1051 (milho verde, silagem e grãos), com e sem a aplicação de fósforo (P₂O₅). Os tratamentos foram:

Cultivar Milho Híbrido comercial Glyfos RR (Grãos):

- **T1 (Parcelas 1 a 5)** – sem aplicação de P₂O₅ (testemunha), com adição de 20 kg ha⁻¹ de N de ureia (45% de N - 2,67 g.m⁻¹) e de 90 kg ha⁻¹ de K₂O de cloreto de potássio (60% de K - 9,0 g.m⁻¹);
- **T2 (Parcelas 6 a 10)** – com aplicação de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de superfosfato simples (20% de P₂O₅ – 30 g.m⁻¹) + 20 kg ha⁻¹ de N de ureia (45% de N - 2,67 g.m⁻¹) + 90 kg

ha⁻¹ de K₂O de cloreto de potássio (60% de K - 9,0 g.m⁻¹).

Cultivar Milho Híbrido AG1051 (Milho Verde, Silagem e Grãos):

- **T3 (Parcelas 11 a 15)** – sem aplicação de P₂O₅ (testemunha), com adição de 20 kg. ha⁻¹ de N de ureia (45% de N - 2,67 g.m⁻¹) e de 90 kg ha⁻¹ de K₂O de cloreto de potássio (60% de K - 9,0 g.m⁻¹);
- **T4 (Parcelas 16 a 20)** – com aplicação de 100 kg. ha⁻¹ de P₂O₅ de superfosfato simples (20% de P₂O₅ – 30 g.m⁻¹) + 20 kg ha⁻¹ de N de ureia (45% de N - 2,67 g.m⁻¹) + 90 kg ha⁻¹ de K₂O de cloreto de potássio (60% de K - 9,0 g.m⁻¹).

Capim *Brachiaria Brizantha* cv. Marandu

- Semeadura em sulco (linha), entre linhas de plantio do milho: 125 g de sementes da forrageira por parcela e 41,6 g por sulco.

3.4 Semeadura e Implantação do Consórcio

A semeadura do milho foi realizada de forma manual em fevereiro de 2025, garantindo uniformidade na distribuição das sementes ao longo das linhas de plantio, espaçadas 0,60 m entre si. Um dia após a semeadura do milho, realizou-se a adubação de base em sulcos paralelos às linhas de plantio.

O Capim-Marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) foi semeado em 28/03/2025, aproximadamente 30 dias após a semeadura do milho, em sulcos abertos nas entrelinhas da cultura principal, utilizando 125 g de sementes forrageiras por parcela, caracterizando o sistema de consórcio milho × braquiária. Essa defasagem na semeadura foi adotada como estratégia de manejo do consórcio, reduzindo a competição inicial da forrageira sobre o milho nas primeiras fases de desenvolvimento da cultura principal. Essa modalidade de consórcio é amplamente utilizada em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) no Cerrado brasileiro, por favorecer a cobertura do solo, a ciclagem de nutrientes e a sustentabilidade do sistema produtivo ao longo dos ciclos (FACCIN, 2015; MENDONÇA, 2017).

Figura 1. Vista geral da área experimental composta por 20 parcelas utilizadas para a condução do experimento.



Fonte: Autor, 2025

Figura 2. Semeadura do milho na linha de plantio dia 26/02/2025.



Fonte: Autor, 2025

Figura 3. Semeadura do Capim Marandu dia 28/03/2025.



Fonte: Autor, 2025

3.5 Adubação

A adubação de base foi realizada um dia após a semeadura, por meio da abertura de sulcos paralelos às linhas de plantio. Em todos os tratamentos, foram aplicados 20 kg ha^{-1} de N (ureia 45%) e 90 kg ha^{-1} de K_2O (cloreto de potássio 60%). Exclusivamente nos tratamentos T2 e T4, foram aplicados adicionalmente 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato simples (20% de P_2O_5).

A adubação de cobertura foi realizada ao longo do desenvolvimento vegetativo da cultura, com aplicação de 20 kg ha^{-1} de N (ureia 45%) em todas as parcelas, em conformidade com as recomendações agronômicas para a cultura do milho no Cerrado (SOUSA; LOBATO, 2004).

Figura 4. Adubação de base realizada nas parcelas no dia 27/02/2025



Fonte: Autor, 2025

Figura 5. A adubação de cobertura realizada ao longo do desenvolvimento vegetativo da cultura, com aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N



Fonte: Autor, 2025

3.6 Proteção de espigas

Foram utilizados sacos de papel reciclável como método de proteção de espigas para a redução de danos físicos e perdas por pragas durante o desenvolvimento das espigas de milho. Ao iniciar a formação das espigas, 3 espigas de cada unidade experimental receberam a cobertura com sacos de papel, enquanto as demais permaneceram sem proteção. Os sacos foram fixados na base da espiga com o uso de grampeadores, visando reduzir danos causados por insetos-praga, permanecendo até a colheita. A proteção não constituiu fator experimental, tendo sido aplicada de forma padronizada em todas as parcelas apenas como medida preventiva de perdas; dessa forma, as espigas protegidas foram consideradas na avaliação da produtividade de grãos.

Figura 6. Proteção das espigas com o uso de saco de papel dia 05/05/2025



Fonte: Autor, 2025

3.7 Variáveis Avaliadas

As avaliações abrangeram o ciclo completo da cultura, compreendendo a fase vegetativa, cujos dados foram coletados e descritos por Goulart (2025), e a fase reprodutiva, objeto principal deste trabalho. Durante a fase reprodutiva e no momento da colheita, foram avaliadas as seguintes variáveis agronômicas:

3.7.1 Variáveis da Cultura do milho

- Produtividade de grãos: expressa em kg ha^{-1} , obtida pela debulha manual das espigas colhidas na área útil de cada parcela, com os grãos pesados e a produtividade corrigida para 13% de umidade base úmida, segundo metodologia descrita por Embrapa (2010).

3.7.2 Variáveis da Cultura do Capim-Marandu

- Altura de planta (AP): medida com trena métrica (cm), do nível do solo até a curvatura da folha mais alta, em todas as plantas de capim-marandu emergidas na área útil de cada parcela, conforme Euclides et al. (2000);
- Teor relativo de clorofila (TRC): determinado na folha mais jovem completamente expandida de cada planta amostrada na área útil da parcela, foi realizada 3 leituras por parcela e feito a media das leituras, as leituras foram realizadas com medidor portátil de clorofila (SPAD-502 Plus, Konica Minolta);

- Produção de massa seca da parte aérea (MSPA): obtida por corte rente ao nível do solo em um comprimento linear de 0,50 cm na área útil de cada parcela, com posterior secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 48 horas e pesagem em balança analítica, com o valor expresso em g, conforme metodologia adotada por Euclides et al. (2000).

1ª Coleta Capim Marandu – 28/04/2025 (30 dias após a semeadura – DAS)

No dia 28 de abril de 2025, aos 30 dias após a semeadura (DAS), foi realizada a primeira avaliação da cultura do capim. Nessa data procedeu-se à medição da altura das plantas em (cm) emergidas por parcela, com o uso de régua graduada de 60 cm. Com o uso de uma régua graduada de 60 cm, foi realizada a coleta da parte aérea das plantas na área útil de cada parcela, para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de capim marandu, num comprimento linear de 50 cm, armazenadas em sacos de papel identificados com o tratamento e número da parcela e levados para secagem em estufa de ventilação forçada a 65 °C por 48 horas. Posteriormente, a esse período houve a pesagem dessas amostras no laboratório de Fitotecnia (sala 191 do bloco 13) na balança analítica e a anotação desses dados em planilha digital.

Também nessa data foi realizada a primeira determinação do Teor Relativo de Clorofila (TRC), em unidade SPAD, por meio de clorofilômetro portátil, conforme apresentado na Figura 3, na folha mais jovem completamente expandida de cada planta amostrada na área útil das parcelas. O TRC é um indicador indireto do status nutricional de nitrogênio da planta, uma vez que a clorofila é constituída por aproximadamente 6% de nitrogênio em sua estrutura (ARGENTA et al., 2001). Os procedimentos de coleta estão ilustrados nas Figuras 6, 7, 8 e 9.

Figura 7. Primeira coleta de dados realizada do Capim Marandu dia 28/04/2025: TRC com clorofilômetro



Fonte: Autor, 2025.

Figura 8. Coleta do capim marandu e identificação em sacos de papel dia 28/04/2025



Fonte: Autor, 2025.

Figuras 9 e 10. Material coletado das parcelas secando em estufa de ventilação forçada a 65 °C por 48 horas dia 28/04/2025, e pesagem após 48 horas de secagem em estufa dia 30/04/2025.



Fonte: Autor, 2025.

2ª Coleta Capim Marandu – 11/06/2025 (73 dias após a semeadura – DAS)

No dia 11 de junho de 2025, foi realizada a segunda avaliação das variáveis das plantas do capim, onde foram analisadas as mesmas características do dia 28/04/2025. Foram avaliadas as seguintes variáveis: Teor Relativo de Clorofila (TRC, unidade SPAD); altura de plantas (cm), determinada com régua graduada, também foi efetuada a coleta da parte aérea das plantas na área útil de cada parcela, para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA). O material vegetal foi acondicionado em sacos de papel identificados por parcela e submetido à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 48 horas. Posteriormente, procedeu-se à pesagem das amostras no laboratório de Fitotecnia (sala 191 do bloco 13) em balança analítica, com registro dos dados em planilha digital.

Figura 11. Vista aérea da parcela do bloco 4 após a coleta da parte aérea do capim marandu dia 11/06/2025



Fonte: Autor, 2025.

Durante o acompanhamento das parcelas, foram observados sintomas visuais de deficiência de fósforo nas plantas de milho, caracterizados pelo avermelhamento e roxeamento das folhas mais velhas e pelo desenvolvimento vegetativo reduzido. Esses sintomas são consistentes com os descritos por Goulart (2025) e Pereira (2025), em estudos conduzidos na mesma área experimental do IFTO – *Campus Palmas*, nos quais a limitação de fósforo no solo resultou em deficiência nutricional visível a partir do estágio V4, comprometendo o crescimento vegetativo inicial das plantas de milho cultivadas sem adubação fosfatada adequada, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12. Sintomas visuais de deficiência de fósforo observados nas plantas de milho no estágio V4.



Fonte: Autor, 2026

Colheita Espiga de Milho – 11/06/2025

A colheita do milho foi realizada quando as plantas atingiram maturidade fisiológica, identificada pelo aparecimento da camada negra (*black layer*) na base dos grãos e pelo teor de umidade dos grãos em torno de 18 a 22% (EMBRAPA, 2010). As espigas das plantas presentes nas duas linhas centrais (área útil) de cada parcela foram colhidas manualmente, debulhadas manualmente e os grãos pesados em balança analítica, com registro dos dados em planilha digital, submetidos para posterior correção da produtividade a 13% de umidade base úmida, conforme a fórmula: $PF = PC \times (100 - UC) / (100 - 13)$, em que PF é o peso final corrigido a 13% de umidade, PC é o peso de campo e UC é o teor de umidade dos grãos no momento da colheita (EMBRAPA, 2010).

Figura 13. Colheita manual das espigas realizada dia 11/06/2025.



Fonte: Autor, 2025

Figura 14. Espigas colhidas.



Fonte: Autor, 2025

Figura 15. Espigas colhidas.



Fonte: Autor, 2025

Figura 16. Espigas colhidas.



Fonte: Autor, 2025

Figura 17. Espigas colhidas.



Fonte: Autor, 2025

Durante toda a condução do experimento foram realizadas avaliações periódicas das parcelas para identificação das principais plantas daninhas e pragas presentes na área experimental. A identificação dos insetos-praga foi realizada por observação visual e comparação com registros morfológicos descritos na literatura especializada. As principais espécies de pragas (insetos) identificadas na área foram: Larva-alfinete (*Diabrotica speciosa*), pulgão (*Rhopalosiphum maidis*), percevejo-cowboy (*Leptoglossus zonatus*), conforme apresentado nas Figuras 17, 18 e 19.

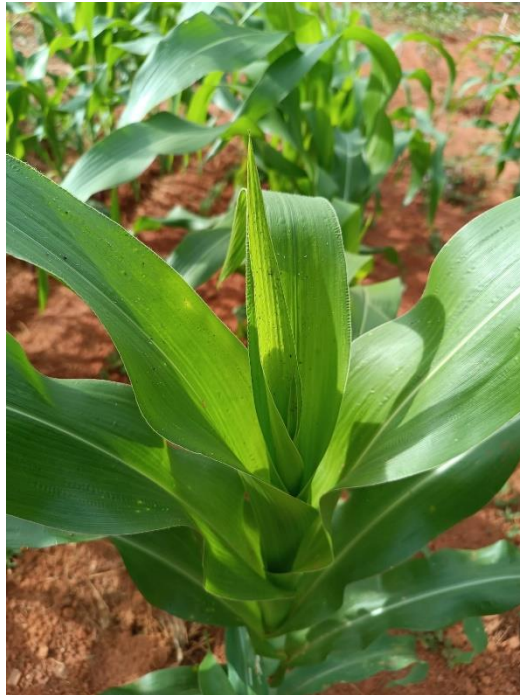
Para o controle de formigas-cortadeiras (*Atta* spp. e *Acromyrmex* spp.), que representaram ameaça ao estabelecimento e ao desenvolvimento da cultura na área experimental, foi utilizado o formicida Isca Granulada GrãoForte, aplicado nos carreiros e na proximidade dos formigueiros identificados na área, seguindo as recomendações de uso do produto, conforme apresentado na Figura 20. O controle foi adotado como medida preventiva e corretiva para evitar o corte das folhas e o comprometimento do estande e do desenvolvimento vegetativo das plantas de milho.

Figura 18. Larva-alfinete (*Diabrotica speciosa*)



Fonte: Autor, 2025

Figura 19. Pulgão (*Rhopalosiphum maidis*)



Fonte: Autor, 2025

Figura 20. Percevejo-cowboy (*Leptoglossus zonatus*)



Fonte: Autor, 2025

Figura 21. Isca formicida granulada utilizada no controle de formigas cortadeiras.



Fonte: Autor, 2025

3.8 Análise Estatística dos Dados

Os dados foram submetidos à análise de variância considerando esquema fatorial 2×2 , composto por duas cultivares de milho (GLYFOS RR e AG1051) e duas doses de P_2O_5 (0 e 100 kg ha⁻¹), em delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições. Quando constatado efeito significativo dos fatores ou da interação cultivar $\times$ dose ($p \leq 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (PIMENTEL-GOMES, 2023). Previamente à análise de variância, foram verificados os pressupostos de normalidade dos resíduos e de homogeneidade das variâncias. As análises foram realizadas com auxílio de planilha eletrônica do Microsoft Excel, disponibilizada pela Universidade Federal de São Carlos (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, 2026).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises conduzidas por Pereira (2025) na área experimental de forragicultura do IFTO *Campus* Palmas revelaram um quadro de baixa fertilidade do solo, com destaque para o comprometimento nos teores de macronutrientes, sobretudo o fósforo (P). As concentrações encontradas ficaram abaixo de 0,59 mg dm⁻³ pelo método Mehlich-1, valores muito inferiores aos teores considerados adequados para culturas de alta produtividade em solos de Cerrado, que demandam teores de P disponível bem superiores a esse patamar para expressar seu potencial

produtivo (SOUSA; LOBATO, 2004; EMBRAPA, 2006). A título de comparação, Rein (2022) relata que, para a cana-de-açúcar, são necessários ao menos 15 mg dm^{-3} (método da resina) ou mais de 8 mg dm^{-3} em solos argilosos pelo Mehlich-1 para se atingir rendimentos superiores a 80% do potencial produtivo; embora essa referência trate de outra cultura, o parâmetro reforça a magnitude da limitação de P observada no solo do experimento, evidenciando disponibilidade muito aquém do necessário ao desenvolvimento adequado do milho, o que provavelmente exerceu influência considerável sobre os resultados obtidos.

Figura 22. Deficiência nutricional de P na parte aérea do milho na fase vegetativa V4 (20 dias após a semeadura das sementes (DAS)).

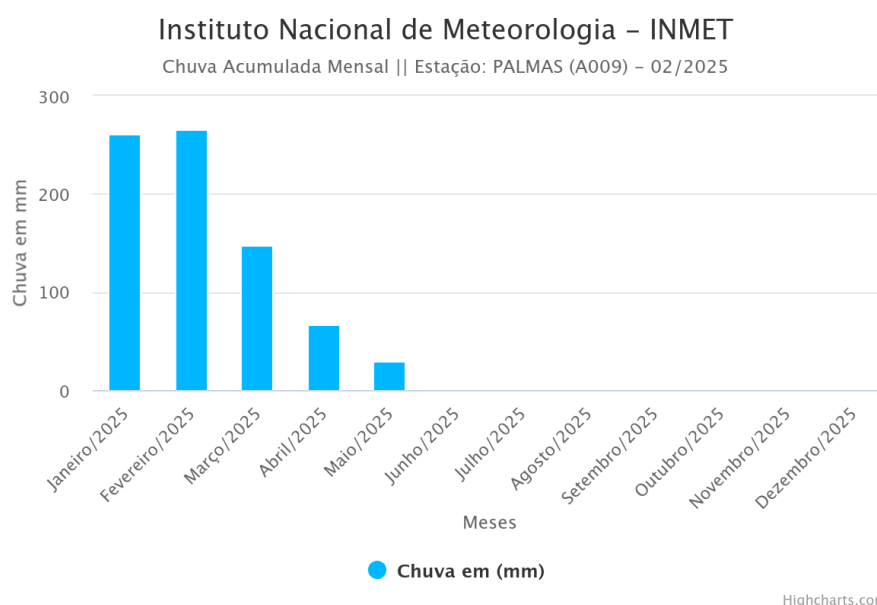


Fonte: Autor, 2025

A dinâmica pluviométrica registrada em Palmas (TO) ao longo do ciclo vegetativo do milho constitui outro elemento relevante na interpretação dos dados. No mês de fevereiro de 2025, a precipitação acumulada atingiu 265,6 mm, superando em 2,15% a média histórica de 260 mm, condição que favoreceu a umidade do solo e contribuiu para a germinação e estabelecimento das plantas (INMET, 2025). A partir de março, contudo, houve uma inversão expressiva nesse padrão: o volume de chuvas caiu para 156 mm, configurando um déficit de aproximadamente 40% em relação à climatologia do período (INMET, 2025). Essa redução pode ter prejudicado a absorção de nutrientes pelas raízes, especialmente do P, elemento essencial para o desenvolvimento do sistema radicular (NOVAIS; SMYTH, 1999). O mês de abril aprofundou ainda mais o déficit hídrico, com precipitação de apenas 70,4

mm, cerca de 109,4 mm abaixo da média esperada de 179,8 mm (INMET, 2025). Em uma fase crítica do desenvolvimento da cultura, a escassez hídrica tende a restringir a mobilidade do P no perfil do solo, comprometendo sua absorção pelas plantas independentemente das doses aplicadas. Dessa forma, a alternância entre um período inicial favorável e uma subsequente restrição pluviométrica acentuada constitui um fator de relevância expressiva para a compreensão dos resultados deste experimento.

Gráfico 1. Chuva acumulada mensal janeiro a maio/2025.



A caracterização química do solo da área experimental foi realizada após a colheita do milho, em outubro de 2025, pelo Laboratório PerfilSolo (Laudo nº 1354/2025), com o objetivo de avaliar o estado de fertilidade das parcelas ao término do ciclo produtivo e subsidiar a interpretação dos resultados obtidos. Foram coletadas duas amostras representativas: uma proveniente das parcelas sem adubação fosfatada (Amostra 01 – 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e outra das parcelas que receberam 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Amostra 02), cujos resultados estão apresentados na Figura 23.

Os teores de fósforo disponível pelo método Mehlich-1 foram de 0,03 mg dm⁻³ na parcela sem adubação e 0,27 mg dm⁻³ na parcela adubada (Figura 23), ambos caracterizando condição de deficiência severa mesmo ao final do ciclo produtivo. Esses valores confirmam o quadro de baixa disponibilidade de P já identificado anteriormente por Goulart (2025), que registrou teores inferiores a 0,59 mg dm⁻³ na mesma área antes da implantação do experimento, indicando que a adubação fosfatada aplicada não foi suficiente para elevar de forma expressiva os estoques de P disponível no solo ao longo do ciclo. Segundo Júnior, De Souza Dias e Ribeiro (2024), em

solos tropicais altamente intemperizados, a adsorção do P aos óxidos de ferro e alumínio é intensa, de modo que grande parte do fertilizante fosfatado aplicado em dose única tende a ser imobilizada em formas pouco disponíveis às plantas, especialmente no curto prazo.

O pH em água apresentou valores de 5,41 e 5,69 para as amostras 01 e 02, respectivamente (Figura 23), caracterizando o solo como moderadamente ácido em ambas as condições. De acordo com Sousa e Lobato (2004), solos do Cerrado com pH entre 5,5 e 6,0 apresentam condições mais favoráveis à disponibilidade de fósforo, uma vez que a atividade dos óxidos de ferro e alumínio responsáveis pela fixação do nutriente é reduzida nessa faixa de acidez, sugerindo que mesmo ao final do ciclo o solo ainda apresentava condições de acidez que favoreciam a fixação do P aplicado.

Os teores de alumínio (Al^{3+}) foram de 0,35 e 0,25 cmolc dm^{-3} , com saturação por alumínio (m%) de 17,77% e 11,57% para as amostras 01 e 02, respectivamente (Figura 23), indicando presença de alumínio tóxico em níveis moderados em ambas as condições. Segundo Sousa e Lobato (2004), valores de saturação por alumínio superiores a 10% já podem comprometer o desenvolvimento radicular do milho, afetando a absorção de água e nutrientes. A parcela adubada apresentou menor saturação por alumínio, o que pode ter contribuído para menor toxidez radicular e melhor aproveitamento dos nutrientes disponíveis nessa condição ao longo do ciclo. Os teores de cálcio (Ca^{2+}) foram de 1,13 e 1,23 cmolc dm^{-3} e os de magnésio (Mg^{2+}) de 0,41 e 0,62 cmolc dm^{-3} (Figura 23), valores considerados baixos para a cultura do milho, uma vez que Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999) recomendam teores mínimos de Ca^{2+} acima de 2,0 cmolc dm^{-3} e de Mg^{2+} acima de 0,5 cmolc dm^{-3} para solos destinados à produção de gramíneas nas condições do Cerrado.

A capacidade de troca de cátions (CTC) foi de 4,02 e 4,51 cmolc dm^{-3} e a saturação por bases (V%) de 40,30% e 42,35% para as amostras 01 e 02, respectivamente (Figura 23), valores abaixo dos 50% recomendados para o cultivo do milho no Cerrado, indicando necessidade de calagem para os próximos ciclos produtivos (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999). A análise textural revelou solo de textura média a argilosa, com teores de argila de 367 e 358 g kg^{-1} (Figura 23), característico dos latossolos do Cerrado, o que está diretamente associado à elevada capacidade de fixação de fósforo observada, uma vez que a maior superfície específica das partículas argilosas favorece a adsorção do nutriente (BEZERRA, 2015).

De forma geral, os resultados da análise de solo realizada após a colheita evidenciam que os teores de P disponível permaneceram muito abaixo do ideal ao término do ciclo produtivo, mesmo nas parcelas que receberam adubação fosfatada. Esse cenário de baixa fertilidade,

associado ao déficit hídrico registrado durante parte do ciclo e à competição imposta pelo capim-marandu consorciado, constitui o conjunto de fatores que subsidia a interpretação dos resultados agrônômicos obtidos nas avaliações do milho e da forrageira.

Tabela 1. Síntese dos resultados da análise química e física do solo da área experimental.

Atributo	Unidade	Amostra 01 (0 kg ha⁻¹ P₂O₅)	Amostra 02 (100 kg ha⁻¹ P₂O₅)
pH (H₂O)	-	5,41	5,69
pH (CaCl₂)	-	4,78	5,06
P (Mehlich-1)	mg dm ⁻³	0,03	0,27
K⁺	cmolc dm ⁻³	0,08	0,06
Ca²⁺	cmolc dm ⁻³	1,13	1,23
Mg²⁺	cmolc dm ⁻³	0,41	0,62
Al³⁺	cmolc dm ⁻³	0,35	0,25
H+Al	cmolc dm ⁻³	2,40	2,60
SB	cmolc dm ⁻³	1,62	1,91
CTC	cmolc dm ⁻³	4,02	4,51
V	%	40,30	42,35
m	%	17,77	11,57
M.O.	g dm ⁻³	18,75	18,17
Argila	g kg ⁻¹	367	358

ns: não solicitado ou abaixo do limite de detecção; M.O.: matéria orgânica; C.O.: carbono orgânico; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio. Areia, argila e silte expressos em g kg⁻¹; água disponível em mm cm⁻¹; AD4: classe de disponibilidade de água. Fonte: Laboratório PerfilSolo, Laudo nº 1354/2025 (2025).

Goulart (2025), ao conduzir avaliações do desenvolvimento vegetativo das mesmas cultivares em consórcio com capim-marandu na área experimental, observou ausência de diferenças significativas entre os tratamentos na primeira coleta, realizada aos 13 DAS, comportamento atribuído ao estágio inicial de desenvolvimento radicular, que ainda limitava a absorção efetiva do fósforo aplicado. Na segunda coleta, aos 28 DAS, a adubação fosfatada passou a exercer influência estatisticamente significativa sobre todas as variáveis analisadas altura de planta, diâmetro de caule, número de folhas, teor relativo de clorofila e massa seca da parte aérea com incrementos expressivos nos tratamentos que receberam 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Na avaliação final, aos 56 DAS, a cv. GLYFOS RR alcançou 164,20 cm de altura, ao passo que a cv. AG1051 se destacou pelo maior acúmulo de biomassa aérea, registrando 323 g.m⁻¹ de massa seca da parte aérea valor significativamente superior aos demais tratamentos. Esses resultados evidenciam que, embora ambas as cultivares tenham respondido positivamente à adubação fosfatada, cada genótipo expressou essa resposta de maneira distinta, refletindo diferenças na alocação de fotoassimilados e na eficiência de utilização do nutriente

Primeira avaliação do capim-marandu, realizada aos 30 dias após a semeadura (DAS), foram analisadas as variáveis altura de planta (AP), teor relativo de clorofila (TRC) e massa seca da parte aérea (MSPA). Os resultados indicaram ausência de diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos para AP e TRC ($p > 0,05$), enquanto a MSPA apresentou diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), conforme demonstrado na Tabela 2.

Para a variável altura de planta, a média geral observada foi de 27,98 cm, com coeficiente de variação de 12,87%, indicando boa homogeneidade entre as parcelas. O tratamento T1 (GLYFOS RR sem P_2O_5) apresentou o maior valor médio de AP (30,20 cm), seguido pelo T2 (GLYFOS RR com P_2O_5) com 28,30 cm, T3 (AG1051 sem P_2O_5) com 27,40 cm e T4 (AG1051 com P_2O_5) com 26,00 cm, sem que houvesse diferença estatística entre eles pelo teste de Tukey a 5%. A ausência de significância para altura nesse estágio pode estar relacionada ao período inicial de estabelecimento da forrageira, em que o capim-marandu ainda se encontrava em fase de desenvolvimento vegetativo incipiente, com crescimento relativamente uniforme independentemente da dose de fósforo aplicada. Resultados semelhantes foram observados por Faccin (2015), que verificou que nos estágios iniciais do consórcio milho-braquiária, a forrageira tende a apresentar crescimento lento e pouco diferenciado entre tratamentos, em razão da competição por luz imposta pela cultura principal.

Para o teor relativo de clorofila, a média geral foi de 29,37 SPAD, com CV de 9,24%, refletindo baixa variabilidade entre as parcelas. Os valores médios variaram de 27,26 SPAD (T4) a 30,47 SPAD (T2), sem diferenças estatísticas entre os tratamentos. A ausência de resposta significativa do TRC à adubação fosfatada nessa fase pode ser explicada pelo fato de o fósforo não atuar diretamente na síntese de clorofila, processo mais dependente de nitrogênio e magnésio. Contudo, o P influencia indiretamente o teor de clorofila ao favorecer o metabolismo energético e o desenvolvimento foliar (TAIZ et al., 2017), o que pode se expressar de forma mais evidente em avaliações posteriores, à medida que a forrageira avança em seu desenvolvimento.

A variável MSPA foi a única a apresentar diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ($F = 7,02$; $p < 0,01$), com média geral de 5,60 g e CV de 27,02%. O tratamento T1 (GLYFOS RR sem P_2O_5) registrou o maior valor médio de MSPA (7,48 g), seguido pelo T3 (AG1051 sem P_2O_5) com 6,68 g e T2 (GLYFOS RR com P_2O_5) com 4,64 g, enquanto o T4 (AG1051 com P_2O_5) apresentou o menor valor (3,59 g), diferindo significativamente dos tratamentos T1 e T3 pelo teste de Tukey a 5%.

De forma interessante, os tratamentos sem adubação fosfatada (T1 e T3) produziram maior biomassa aérea do capim-marandu em comparação aos tratamentos adubados com P_2O_5 (T2 e T4). Esse resultado, aparentemente contraintuitivo, pode ser explicado pela maior competitividade do milho nas parcelas adubadas com fósforo. Nas parcelas que receberam 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o milho apresentou desenvolvimento vegetativo mais vigoroso, conforme registrado por Goulart (2025), o que provavelmente intensificou a competição por luz, água e nutrientes sobre o capim-marandu, suprimindo seu crescimento inicial. Esse fenômeno de supressão da forrageira pelo milho em condições de maior disponibilidade de P é corroborado por Mendonça (2017), que observou que o vigor da cultura principal exerce influência determinante sobre o estabelecimento inicial da forrageira em sistemas consorciados, sendo que condições mais favoráveis ao milho tendem a ampliar a competição assimétrica entre as espécies nas fases iniciais do consórcio.

Adicionalmente, o déficit hídrico registrado nos meses de março e abril de 2025, com precipitações 40% e 60,8% abaixo das médias históricas, respectivamente (INMET, 2025), pode ter afetado de forma diferenciada o capim-marandu nas parcelas com e sem adubação fosfatada, uma vez que plantas de milho mais desenvolvidas tendem a explorar maior volume de solo e competir mais eficientemente pela água disponível, reduzindo ainda mais a oferta hídrica para a forrageira consorciada

Tabela 2. Altura de planta (AP), Produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e Teor relativo de clorofila (TRC) do Capim Marandu 30 DAS. Nível de significância: *: 5%; e ns: não significativo. Letras iguais não diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tratamentos (kg ha^{-1} de P_2O_5)	AP (cm)	MSPA (gm)	TRC (SPAD)
GLYFOS RR + CAPIM MARANDU			
0	30,20a	7,48a	29,75a
100	28,30a	4,64ab	30,47a
AG 1051 + CAPIM MARANDU			
0	27,40a	6,68a	30,01a
100	26,00a	3,59b	27,26a
F	ns	7,02**	ns
Média geral	27,98	5,60	29,37
CV (%)	12,87	27,02	9,24

Nível de significância: *: 5%; e ns: não significativo. Letras iguais não diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Fonte: Autor, 2026.

Segunda avaliação do capim-marandu, realizada aos 73 dias após a semeadura (DAS), foram novamente analisadas as variáveis altura de planta (AP), teor relativo de clorofila (TRC) e produção da massa seca da parte aérea (MSPA). De forma semelhante à primeira coleta, AP e TRC não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$), enquanto a MSPA manteve significância estatística, desta vez ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), conforme apresentado na Tabela 3.

Em relação à altura de planta, observou-se crescimento expressivo em todos os tratamentos em comparação à primeira coleta, com média geral passando de 27,98 cm para 41,65 cm, representando um incremento médio de aproximadamente 49% entre as avaliações. O tratamento T3 (AG1051 sem P_2O_5) registrou o maior valor médio de AP (45,60 cm), seguido por T4 (AG1051 com P_2O_5) com 41,80 cm, T1 (GLYFOS RR sem P_2O_5) com 42,40 cm e T2 (GLYFOS RR com P_2O_5) com 36,80 cm, sem diferenças estatísticas entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5%. O CV de 20,30% indica variabilidade moderada entre parcelas, esperada em sistemas consorciados em razão da heterogeneidade na distribuição da sombra promovida pelo dossel do milho sobre a forrageira. A ausência de significância para AP nessa coleta reforça o padrão observado anteriormente, sugerindo que, nas condições avaliadas, a adubação fosfatada não exerceu influência direta sobre o crescimento em altura do capim-marandu, comportamento que pode estar associado ao sombreamento imposto pelo milho, que tende a ser o fator limitante predominante para o desenvolvimento da forrageira nessa fase do consórcio, independentemente da disponibilidade de P no solo (MENDONÇA, 2017).

Para o teor relativo de clorofila, a média geral foi de 20,91 SPAD, com CV de 8,20%, indicando boa uniformidade entre as parcelas. Chama atenção a redução nos valores de TRC em relação à primeira coleta, cuja média foi de 29,37 SPAD, queda de aproximadamente 29%. Esse declínio pode estar associado ao sombreamento progressivo exercido pelo milho sobre o capim-marandu à medida que a cultura principal avançou em seu desenvolvimento vegetativo, reduzindo a interceptação de luz pela forrageira e, consequentemente, a atividade fotossintética e a síntese de clorofila (TAIZ, 2017). Os valores médios por tratamento variaram de 20,01 SPAD (T3) a 22,14 SPAD (T2), sem diferenças significativas entre si, sugerindo que tanto a cultivar de milho quanto a presença ou ausência de fósforo não influenciaram de forma distinta o status clorofiliano do capim-marandu nessa fase.

A variável MSPA novamente foi a única a apresentar diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ($F = 4,51$; $p < 0,05$), com média geral de 19,99 g e CV de 23,00%. Comparando com a primeira coleta, houve crescimento substancial na produção de

biomassa aérea do capim-marandu em todos os tratamentos, com a média geral saltando de 5,60 g para 19,99 g, evidenciando o avanço no estabelecimento da forrageira ao longo do ciclo. O tratamento T1 (GLYFOS RR sem P_2O_5) registrou o maior valor médio de MSPA (24,32 g), seguido por T3 (AG1051 sem P_2O_5) com 23,16 g, T2 (GLYFOS RR com P_2O_5) com 16,50 g e T4 (AG1051 com P_2O_5) com 15,97 g. Contudo, pelo teste de Tukey a 5%, todos os tratamentos foram agrupados em uma única classe estatística, diferentemente do observado na primeira coleta, em que T4 havia diferido significativamente de T1 e T3.

O padrão de maior produção de biomassa nos tratamentos sem adubação fosfatada (T1 e T3) em relação aos adubados (T2 e T4) manteve-se consistente entre as duas coletas, reforçando a hipótese de que a maior competitividade do milho nas parcelas que receberam P_2O_5 continuou suprimindo o desenvolvimento do capim-marandu. Goulart (2025) registrou que nas parcelas adubadas com fósforo, o milho apresentou altura de planta significativamente superior aos 56 DAS, o que implica maior interceptação de radiação solar pelo dossel e, conseqüentemente, maior restrição luminosa sobre a forrageira estabelecida nas entrelinhas. Esse efeito de supressão por sombreamento em sistemas consorciados é amplamente documentado na literatura, sendo apontado por Mendonça (2017) como um dos principais fatores limitantes ao estabelecimento inicial do capim-marandu sob o dossel do milho, especialmente quando a cultura principal se encontra em estádios vegetativos avançados.

De forma complementar, a recuperação do regime pluviométrico esperada para o período, após o déficit hídrico registrado nos meses anteriores (INMET, 2025), pode ter favorecido o crescimento geral da forrageira entre as duas coletas, contribuindo para o incremento expressivo na MSPA observado em todos os tratamentos, ainda que de forma não diferenciada estatisticamente entre eles nessa segunda avaliação.

Tabela 3. Altura de planta (AP), Produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e Teor relativo de clorofila (TRC) do Capim Marandu 73 DAS. Nível de significância: *: 5%; e ns: não significativo. Letras iguais não diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tratamentos (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)	AP (cm)	MSPA (gm)	TRC (SPAD)
GLYFOS RR + CAPIM MARANDU			
0	42,40a	24,32a	20,19a
100	36,80a	16,50a	22,14a
AG 1051 + CAPIM MARANDU			
0	45,60a	23,16a	20,01a
100	41,80a	15,97a	21,29a
F	ns	4,51*	ns
Média geral	41,65	19,99	20,91
CV (%)	20,30	23,00	8,20

Nível de significância: *: 5%; e ns: não significativo. Letras iguais não diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Fonte: Autor, 2026

A produtividade de grãos das cultivares de milho, avaliada ao final do ciclo produtivo, apresentou média geral de 4.021,15 kg ha⁻¹, com coeficiente de variação de 44,56%, valor elevado que reflete a alta variabilidade observada entre as parcelas experimentais, possivelmente influenciada pelo déficit hídrico registrado durante parte do ciclo da cultura e pela competição imposta pelo capim-marandu consorciado. A análise de variância não detectou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ($F = 3,09$; $p > 0,05$), com todos os tratamentos agrupados em uma única classe pelo teste de Tukey a 5%, conforme apresentado no Gráfico 2.

Os valores médios de produtividade por tratamento foram: T1 (GLYFOS RR sem P₂O₅) com 1.933,00 kg ha⁻¹, T2 (GLYFOS RR com P₂O₅) com 4.800,40 kg ha⁻¹, T3 (AG1051 sem P₂O₅) com 4.936,60 kg ha⁻¹ e T4 (AG1051 com P₂O₅) com 4.414,60 kg ha⁻¹. Embora sem significância estatística, chama atenção a expressiva diferença numérica entre T1 e os demais tratamentos, com T1 registrando produtividade aproximadamente 59% inferior à média dos demais (4.717,20 kg ha⁻¹), o que sugere uma tendência de resposta positiva à adubação fosfatada para a cv. GLYFOS RR, que não se confirmou estatisticamente, provavelmente em razão da elevada variabilidade entre parcelas, evidenciada pelo alto CV. Os valores médios de produtividade, o resultado da análise de variância e o teste de médias estão sintetizados na Tabela 4.

Tabela 4. Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) das cultivares de milho Glyfos RR e AG1051, sob duas doses de fósforo em consórcio com capim-marandu.

Tratamentos	Produtividade (kg ha^{-1})
T1 (GLYFOS RR sem P_2O_5)	1.933,00a
T2 (GLYFOS RR com P_2O_5)	4.800,40a
T3 (AG1051 sem P_2O_5)	4.936,60a
T4 (AG1051 com P_2O_5)	4.414,60a
F	3,09 ns
Média geral	4.021,15
CV (%)	44,56

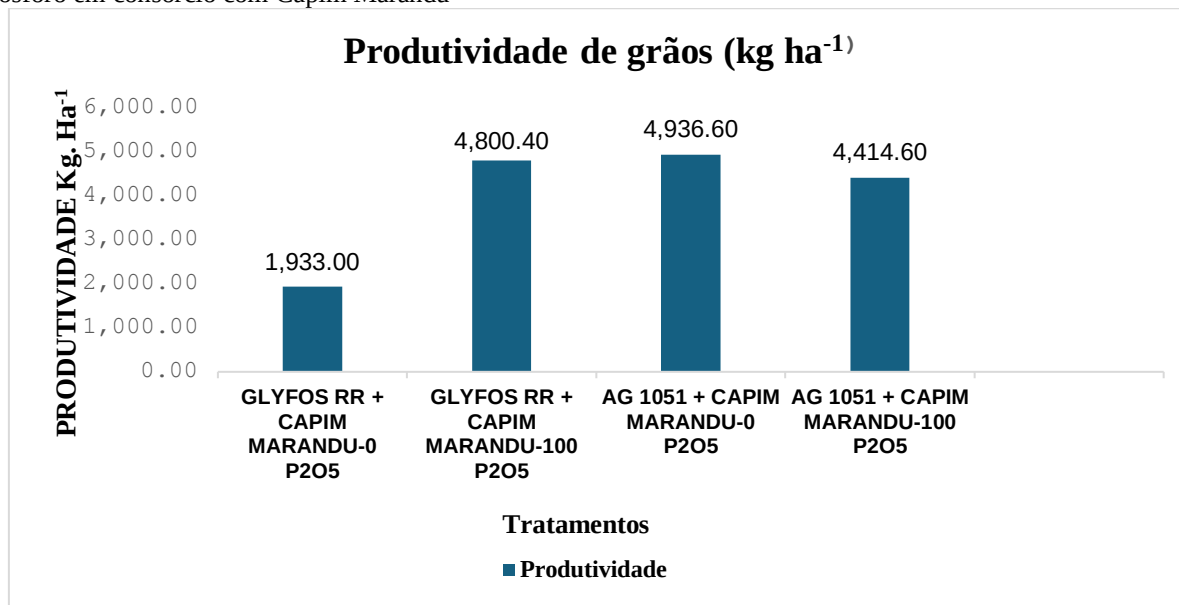
ns: não significativo pelo teste F. Letras iguais não diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); como não houve significância pelo teste F, todos os tratamentos foram agrupados em uma única classe estatística.

Fonte: Autor, 2026.

A ausência de significância estatística para produtividade pode ser atribuída a um conjunto de fatores que atuaram de forma conjunta ao longo do experimento. O déficit hídrico observado nos meses de março e abril de 2025, com precipitações 40% e 60,8% abaixo das médias históricas, respectivamente (INMET, 2025), coincidiu com fases críticas do desenvolvimento do milho, como o florescimento e o enchimento de grãos, períodos em que a demanda hídrica da cultura é máxima e a restrição de água compromete diretamente a produtividade final (COSTA; PINHO; PARRY, 2008). Além disso, a baixa disponibilidade de fósforo no solo, com teores inferiores a $0,59 \text{ mg dm}^{-3}$ (GOULART, 2025), pode ter limitado a resposta produtiva mesmo nas parcelas que receberam adubação fosfatada, dado que em solos com elevada capacidade de adsorção de P, como os latossolos do Cerrado, uma parcela significativa do fertilizante aplicado tende a ser fixada e torna-se indisponível para as plantas em curto prazo (JÚNIOR; DE SOUZA DIAS; RIBEIRO, 2024).

A produtividade média geral obtida de $4.021,15 \text{ kg ha}^{-1}$ situa-se abaixo do potencial produtivo esperado para cultivares híbridas modernas, que pode superar $12.000 \text{ kg ha}^{-1}$ em condições ideais de manejo (RUFF, 2023), evidenciando o impacto combinado das limitações nutricionais e hídricas sobre o desempenho produtivo do milho nas condições edafoclimáticas avaliadas. Resultados similares foram reportados por Rocha et al. (2024), que observaram reduções expressivas na produtividade do milho em solos com níveis médios a baixos de fósforo disponível, reforçando a importância do manejo adequado da fertilidade para a expressão do potencial genético das cultivares.

Gráfico 2. Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) das cultivares de milho Glyfos RR e AG1051, sob duas doses de fósforo em consórcio com Capim Marandu



Fonte: Autor, 2026

A competição imposta pelo capim-marandu consorciado pode também ter contribuído para a limitação da produtividade, especialmente nas fases iniciais do desenvolvimento do milho, quando a forrageira compete por água, luz e nutrientes com a cultura principal. Mendonça (2017) destaca que, em sistemas consorciados, o manejo inadequado da forrageira nas fases iniciais pode reduzir a produtividade do milho, sendo fundamental o ajuste das práticas de manejo para minimizar a competição entre as espécies. Contudo, com o avanço do ciclo do milho e o fechamento do dossel, essa competição tende a ser atenuada, uma vez que o sombreamento passa a suprimir o crescimento da forrageira, como observado nos dados de biomassa do capim-marandu nas coletas realizadas.

Por fim, vale destacar que, apesar da ausência de significância estatística, a tendência numérica observada especialmente o baixo desempenho do T1 e os valores relativamente próximos entre T2, T3 e T4, sugere que novos estudos com maior número de repetições, manejo hídrico controlado e doses crescentes de fósforo sejam conduzidos para elucidar com maior precisão a resposta produtiva das cultivares avaliadas nas condições do Cerrado tocantinense.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo permitem identificar tendências relevantes quanto ao desempenho produtivo das cultivares de milho e ao estabelecimento do capim-marandu em consórcio, nas condições edafoclimáticas do Cerrado tocantinense avaliadas, ainda que a maioria das variáveis relacionadas ao milho não tenha apresentado diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.

Em relação à produtividade de grãos do milho, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, com média geral de 4.021,15 kg ha⁻¹. Contudo, a expressiva diferença numérica verificada entre o tratamento T1 (GLYFOS RR sem P₂O₅, com 1.933,00 kg ha⁻¹) e os demais tratamentos indica tendência de resposta positiva à adubação fosfatada, especialmente para a cv. GLYFOS RR. A ausência de significância estatística pode ser atribuída ao conjunto de fatores limitantes que atuaram ao longo do ciclo, incluindo os baixíssimos teores de fósforo disponível no solo verificados mesmo após a colheita (0,03 e 0,27 mg dm⁻³ pelo método Mehlich-1), o déficit hídrico registrado nos meses de março e abril de 2025 e a elevada capacidade de fixação de P característica dos latossolos do Cerrado, que limitaram o aproveitamento do fertilizante aplicado em dose única.

No que diz respeito ao capim-marandu consorciado, os resultados revelaram um padrão consistente entre as duas coletas realizadas: os tratamentos sem adubação fosfatada (T1 e T3) produziram maior biomassa aérea em comparação aos tratamentos adubados (T2 e T4), sugerindo que o maior vigor vegetativo do milho nas parcelas que receberam P₂O₅ intensificou a competição por luz, água e nutrientes sobre a forrageira, suprimindo seu crescimento inicial. Esse comportamento evidencia a importância do manejo do consórcio para equilibrar o desenvolvimento das duas espécies, especialmente nas fases iniciais do ciclo.

A análise de solo realizada após a colheita confirmou o estado de baixa fertilidade da área experimental, com teores de P disponível muito abaixo do recomendado, saturação por bases inferior a 50% e presença de alumínio tóxico em ambas as condições avaliadas, reforçando a necessidade de estratégias de adubação fosfatada corretiva e calagem ao longo de múltiplos ciclos produtivos para viabilizar respostas produtivas mais expressivas nessas condições.

Do ponto de vista agrônomo, nas condições edafoclimáticas avaliadas, os resultados sugerem que a adubação com 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicada em dose única, não

foi suficiente para superar de forma estatisticamente comprovada as limitações impostas pela alta capacidade de fixação do nutriente no solo e pelo déficit hídrico ocorrido durante fases críticas do desenvolvimento do milho, associando-se a uma produtividade numericamente abaixo do potencial das cultivares avaliadas. Para o capim-marandu, o consórcio se mostrou viável, com crescimento progressivo ao longo do ciclo, embora a competição exercida pelo milho adubado tenha reduzido a biomassa da forrageira nas parcelas com P_2O_5 . Recomenda-se a realização de novos experimentos com doses crescentes de fósforo, associadas à calagem corretiva e ao manejo hídrico adequado, visando reduzir a variabilidade experimental e permitir avaliações mais precisas do potencial produtivo do consórcio milho-marandu nas condições do Cerrado tocantinense.

REFERÊNCIAS

- AGROADVANCE. Consórcio de plantas de cobertura no cultivo do milho. 2024. Disponível em: <https://agroadvance.com.br>. Acesso em: 10 mar. 2025.
- ALMEIDA, Antônio Fabrício de. Desempenho agronômico e eficiência de utilização de fósforo por cultivares de milho. 2019.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ARGENTA, G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 13, n. 2, p. 158–167, 2001.
- BASTIANI, Kayn Eduardo de Souza. Estratégias de calagem e fertilização com fósforo e potássio: efeito na distribuição vertical da acidez e nutrientes no solo e na produtividade de grãos. 2024.
- BEZERRA, Régis Pinheiro Martins et al. Frações de fósforo e correlação com atributos edáficos sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado Goiano. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 3, p. 1287-1306, 2015.
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 2, p. 163-171, 2007.
- BORGES, C. S. Interação fósforo-silício-flúor em materiais de solo oxidico e uso benéfico de subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados na soja. 138 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395 p.
- CECCON, G.; STAUT, L. A.; SAGRILO, E.; MACHADO, L. A. Z.; NUNES, D. P.; ALVES, V. B. Leguminosas e capim-braquiária em consórcio com milho de segunda safra em três modalidades de cultivo. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 300-309, 2013.
- CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARY JOURNAL. Aplicação parcelada de P₂O₅ e desempenho agronômico do milho. *Científica Multidisciplinary Journal*, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2023.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2022/2023. Brasília: CONAB, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 12º levantamento, safra 2023/2024. Brasília: CONAB, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 12 set. 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 8º levantamento, safra 2024/2025. Brasília: CONAB, 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 20 mai. 2025.

COSTA, A. L.; PEREIRA, R. C.; SILVA, F. J. Consórcio milho-braquiária: benefícios e manejo agrônomo em sistemas de produção agrícola. *Ciência Rural*, v. 3, p. 1-12, 2022.

COSTA, Jacirema R. da; DE PINHO, João L. N.; PARRY, Maurício M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, p. 443-450, 2008.

COSTA, R. V.; CAMPOS, L. J. M.; ALMEIDA, R. E. M.; PEREIRA, L. A. O. A.; COTA, L. V.; SILVA, D. D.; BERNARDES, F. P.; AMORIM, F. R. Desempenho de híbridos de milho cultivados em segunda safra em Latossolo e Plintossolo no estado do Tocantins, safra 2022/2023. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2023. (Comunicado Técnico).

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; SIMÃO, E. P. Avaliação de cultivares de milho indicadas para o estado de Minas Gerais na safra 2009/2010. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Circular Técnica, 148).

DESEMPENHO PRODUTIVO DE HÍBRIDOS DE MILHO CULTIVADOS NA SEGUNDA SAFRA. Trabalho apresentado no CTC/COMIGO, Rio Verde-GO, safra 2022/2023. Research Gate, 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 05 abr. 2024.

EMBRAPA. Plantio direto e integração lavoura-pecuária aumentam diversidade microbiana do solo e protegem as plantas. Brasília: Embrapa, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 28 mai. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA MILHO E SORGO. Cultivo do milho. 2. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Sistema de Produção, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema de produção de milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Sistema de Produção, 1). Disponível em: <https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo>. Acesso em: 20 fev. 2026.

EUCLIDES, V. P. B. et al. Avaliação de diferentes métodos de amostragem sob pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 29, n. 3, p. 691–699, 2000.

FACCIN, F. C. Consórcio milho-braquiária: desempenho agrônomo e atributos do solo. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

FLORES, R. A.; URQUIAGA, S. S.; ALVES, B. J. R.; COLLIER, L. S.; MORAIS, R. F. Adubação nitrogenada e inoculação com *Herbaspirillum seropedicae* no rendimento de milho em sistema de consórcio com braquiária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 51, n. 8, p. 1010-1017, 2016.

GONÇALVES, R. N. Deficiência de fósforo e sintomas em milho (*Zea mays* L.). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, 2022.

GONÇALVES, R. N.; SOUSA, T. R.; ROMÃO, L. G. F. E.; PELÁ, A.; SILVA NETO, S. P.; CASSIANO, M. V. P. Resposta da cultura do milho, em segunda safra, à adubação fosfatada em Latossolo Amarelo no Cerrado. *Revista de Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta*, v. 16, n. 2, 2018.

GOULART, Fellipe da Silva. Avaliação do crescimento e o desenvolvimento inicial de duas cultivares de milho (*Zea mays* L.) sob duas doses de fósforo em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico do Bioma Cerrado. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, 2025.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Piracicaba: Potafos, 2001. (Informações Agronômicas, 95).

INFOTECA-E. Rendimento forrageiro da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a doses crescentes de fósforo. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 10 mar. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Balanço climático – março de 2025: chuvas ficam 40% abaixo da média em Palmas (TO). Brasília: INMET, 2025b. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/balanco-chuvas-foram-abaixo-da-media-em-palmas-no-mes-de-marco>. Acesso em: 18 maio 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Boletim climático – abril de 2025: redução expressiva nas chuvas em Palmas (TO). Brasília: INMET, 2025c. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/balanco-palmas-to-registra-chuva-e-temperatura-acima-da-media-em-abril-2024>. Acesso em: 18 maio 2025.

JÚNIOR, Kleso Silva Franco; DE SOUZA DIAS, Márcio; RIBEIRO, Vinícius Muniz. Disponibilidade de fósforo no solo em semanas sob diferentes fontes. *Research, Society and Development*, v. 13, n. 10, p. e87131047154, 2024.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T. Opções de integração lavoura-pecuária e seus aspectos conjunturais. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). *Integração lavoura pecuária*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 141-170.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T. Implantação de pastagens via consórcio com culturas anuais. In: *SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM*, 25., 2010, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: FEALQ, 2010. p. 1-46.

LANDERS, J. N. Tropical crop-livestock systems in conservation agriculture: the Brazilian experience. Rome: FAO, 2007. (Integrated Crop Management, 5).

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 38, n. esp., p. 133-146, 2009.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P. Fisiologia do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. (Circular Técnica, 22).

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.

MENDONÇA, Clíce de Araújo. Consórcio de milho com Brachiaria brizantha: avaliação do desempenho operacional, agrônômico e econômico. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO E DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO. ARACÊ – Periódicos News Sci Publ, fev. 2026. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com>. Acesso em: 15 fev. 2026.

NOTÍCIAS AGRÍCOLAS. Prepare-se: Confira os híbridos de milho para a safra 2022/2023. 2022. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br>. Acesso em: 14 dez. 2022.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFFV, 1999. 399 p.

O PRESENTE RURAL. Braquiárias consolidam aptidão brasileira para a pecuária. 2025. Disponível em: <https://opresenterural.com.br>. Acesso em: 26 ago. 2025.

OLIVEIRA, Reginaldo Miranda de et al. Análise de trilha do teor de fósforo nos diferentes constituintes do milho irrigado. Research, Society and Development, v. 11, n. 2, p. e16811225568, 2022.

OTAVIO CABRAL NETO, L. L. de O.; SILVA, D. P.; ROCHA, E. R.; SILVA, A. J. A. da; ROSANOVA, C. Fundamentos e características do sistema de integração lavoura-pecuária no estado do Tocantins: uma revisão da literatura. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v. 3, n. 3, 2024. <https://doi.org/10.61164/rnmnm.v3i3.2208>.

PARENTONI, S. N.; SOUZA JÚNIOR, C. L. Phosphorus acquisition and internal utilization efficiency in tropical maize genotypes. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 43, n. 7, p. 893-901, 2008.

PEREIRA, A. V. Solubilizadores de fosfatos associados a fontes de fósforo na cultura do milho. 2024. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Urutaí, 2024.

PEREIRA, B. G. Produtividade do milho em resposta a diferentes fontes de adubação fosfatada. 2023. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Instituto Federal de Rondônia, Colorado do Oeste, 2023.

PEREIRA, E. B. S. Efeito da adubação e da correção do solo de cerrado nos atributos químicos e físicos em área experimental de forragicultura do IFTO – Campus Palmas. 2025. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, 2025.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de estatística experimental. Digitaliza Conteúdo, 2023.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. (Boletim Técnico, 100).

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

RENDIMENTO DO CONSÓRCIO MILHO-BRACHIARIA BRIZANTHA AFETADO PELA LOCALIZAÇÃO DO ADUBO E APLICAÇÃO DE HERBICIDA. Academia.edu, 2022. Disponível em: <https://www.academia.edu>. Acesso em: 11 fev. 2022.

RIBEIRO, Antônio Carlos; GUIMARÃES, Paulo Tácito Gontijo; ALVAREZ, Victor Hugo. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999.

RIBEIRO, Mylla Crysthyan et al. Híbridos de milho sob diferentes doses de fósforo visando o consumo in natura. *Magistra*, v. 28, n. 2, p. 273-278, 2017.

ROCHA, Thalysson Bruno Mendes et al. Avaliação da eficácia de diferentes fertilizantes fosfatados na produtividade do milho em solos com níveis médios de fósforo. *Scientia Generalis*, v. 5, n. 2, p. 390-399, 2024.

RUFF, Oilhan Jonas et al. Doses de fósforo em híbridos de milho cultivados em solo arenoso. *Scientific Electronic Archives*, v. 16, n. 5, 2023.

SALTON, J. C. 20 anos de experimentação em integração lavoura-pecuária na Embrapa Agropecuária Oeste: relatório 1995-2015. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2015. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 130).

SANGOI, L. et al. Desempenho agrônomo de híbridos de milho em diferentes épocas de semeadura e densidades de plantas. *Ciência Rural*, v. 40, n. 5, p. 1063–1069, 2010.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 1, p. 153-156, jan. 2008.

SANTOS, A.; LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Capacidade de adsorção de fósforo em solos do Triângulo Mineiro com diferentes atributos. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 7-16, 2008.

SANTOS, F. C.; VASCONCELLOS, C. A.; PEREIRA FILHO, I. A.; OLIVEIRA, A. C. Adubação do milho. In: CRUZ, J. C. (Ed.). *Cultivo do milho*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. (Sistema de Produção, 1).

SEMENTES BIOMATRIX. GLYFOS RR. Disponível em: <https://sementesbiomatrix.com.br/produtos/glyfos-rr>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SILVA, A. L. D.; SILVA, M. O.; RODRIGUES, G. A.; CASSIANO, M. V. P.; PELÁ, A. Cultivo do milho sob doses de fósforo em Plintossolo Pétrico no Cerrado. *Revista Agri Environmental Sciences*, Palmas-TO, v. 8, ed. especial, e022006, 2022.

SILVA, M. L. G. Uso do sólido de suínos de forma parcelada como fonte de nitrogênio (N) em adubação de cobertura no cultivo do milho verde irrigado por gotejamento. 18 f. TCC (Graduação em Engenharia Agrícola) – Instituto Federal Goiano, Urutaí, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/612>. Acesso em: 17 fev. 2026.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 820 p.

TAIZ, Lincoln et al. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Porto Alegre: Artmed, 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. Teste de Tukey. Disponível em: <https://www.cca.ufscar.br/pt-br/servicos/teste-de-tukey>. Acesso em: 20 fev. 2026.

VIEIRA, R. M. G. Desenvolvimento de milho (*Zea mays* L.) com o uso de diferentes fontes de fósforo. 2023. 36 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2023.

VITORINO, Plínio José Patriota et al. Crescimento e acúmulo de fósforo em milho sob doses de fosfato radicular e fosfito via foliar. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 5, p. e76953120, 2020.