

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

AMANDA DIAS ARAUJO

**INFLUÊNCIA DOS MÉTODOS DE SEMEADURA E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA
NA PRODUÇÃO DO CAPIM-MOMBAÇA (*Megathyrsus maximus*) NO SOLO DE
CERRADO**

PALMAS

2026

AMANDA DIAS ARAUJO

**INFLUÊNCIA DOS MÉTODOS DE SEMEADURA E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA
NA PRODUÇÃO DO CAPIM-MOMBAÇA (*Megathyrsus maximus*) NO SOLO DE
CERRADO**

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

Orientador: Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'Ana.

PALMAS

2026

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

A658i Araujo, Amanda Dias
 INFLUÊNCIA DOS MÉTODOS DE SEMEADURA E DA ADUBAÇÃO
FOSFATADA NA PRODUÇÃO DO CAPIM-MOMBAÇA (*Megathyrsus*
maximus) NO SOLO DE CERRADO / Amanda Dias Araujo. – Palmas, TO,
2026.

37 fol. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO, Palmas, TO,
2026.

Orientador: Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'ana.

1. *Megathyrsus maximus*. 2. Semeadura em sulco versus a lanço. 3.
Adubação fosfatada no solo de cerrado. I. Sant'ana, Edvaldo Vieira Pacheco. 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 AGRÔNOMICA

AMANDA DIAS ARAUJO

INFLUÊNCIA DOS MÉTODOS DE SEMEADURA E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NA PRODUÇÃO DO CAPIM - MOMBAÇA (*Megathyrsus maximus*) NO SOLO DE CERRADO

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

Aprovado em: 09 de junho de 2026

BANCA AVALIADORA

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

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

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



Documento assinado eletronicamente por **Thomas Vieira Nunes, Servidor**, em 09/06/2026, às 14:59, 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 09/06/2026, às 14:59, 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 **Edvaldo Vieira Pacheco Santana, Coordenador**, em 09/06/2026, às 15:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3208732** e o código CRC **8DF4C62A**.



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS

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

Referência: Processo nº 23236.012297/2026-35

SEI nº 3208732

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por tamanha fidelidade e misericórdia sobre a minha vida. Foram anos de transformações, renúncias e desafios onde me concedeu forças para alcançar cada realização.

Dedico esta conquista os meus pais, Pedro Feitosa Araujo e Maria Enoque Dias Araujo, por todo apoio, suporte, conselhos, incentivo, abdições e renúncias silenciosas. Literalmente, debaixo de muito sol, vocês fizeram com que eu chegasse até aqui na sombra. Ao meu pai, cujas mãos calejadas são sinônimo de amor e trabalho árduo. À minha mãe, pilar de oração que sustentou cada passo meu. Se alcancei este marco, foi graças ao suor e à intercessão de ambos. Vocês são meu maior exemplo de força e amor, sem vocês, nada teria sentido. Obrigada por tornarem minha graduação prioridade.

Aos meus irmãos, Pedro Feitosa Araujo Junior e Naiane Dias Araujo, por serem fonte inesgotável de amor, incentivo, apoio e ombro amigo. Obrigada por sempre acreditarem no meu potencial, mesmo quando eu mesma não conseguia enxergar.

Agradeço também às boas amizades que cultivei ao longo desses anos, em especial Lorrany Marinho, Deborah Cardoso e Naiara Dias. O apoio, incentivo e companheirismo de vocês foram fundamentais durante essa jornada. Minha gratidão também aos amigos Luís Cláudio e João Levi, por todo companheirismo.

Expresso, ainda, minha sincera gratidão ao meu orientador, Prof. Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'Ana, por toda paciência, orientação e suporte ao longo deste trabalho. Sua humildade como pessoa e profissional faz toda a diferença. A você, meu mais profundo respeito e admiração.

Agradeço também Kauane Oliveira e Jamili Barbosa pela companhia diária e os momentos compartilhados ao longo desses anos.

Este não foi um sonho solitário, mas um sonho sonhado em conjunto e construído por muitas mãos. Foi por vocês, e com vocês, que cheguei até aqui. A cada um que, de perto ou de longe, contribuiu para essa conquista, deixo o meu mais sincero agradecimento.

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos”.

Provérbios 16:3

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência dos métodos de semeadura e da adubação fosfatada na produção do capim-Mombaça (*Megathyrsus maximus* cv. Mombaça) no solo de Cerrado. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, combinando dois métodos de semeadura (sulco e a lanço), dois métodos de adubação (sulco e a lanço) e três doses de P_2O_5 (0, 100 e 200 kg ha⁻¹), com doze tratamentos e três repetições. Foram analisadas as variáveis teor relativo de clorofila (TRC) e massa seca da parte aérea (MSPA). As análises de solo indicaram baixos teores de fósforo disponível, pH ácido e elevada capacidade de adsorção do nutriente, características típicas dos solos do Cerrado. Na ausência de adubação fosfatada, as plantas apresentaram os menores valores de TRC e MSPA, sem diferença significativa entre os métodos de semeadura e adubação ($p > 0,05$). Na dose de 100 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , observou tendência de aumento nas variáveis avaliadas, porém sem significância estatística. Na maior dose (200 kg ha⁻¹ de P_2O_5), verificou-se efeito significativo dos tratamentos para o TRC ($F = 5,09$; $p < 0,05$), com destaque para o tratamento com semeadura a lanço e adubação no sulco, que apresentou o maior valor médio (61,45 SPAD), diferindo estatisticamente da semeadura em sulco com adubação a lanço (35,77 SPAD). Para a MSPA, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos em nenhuma das doses avaliadas, possivelmente em razão da elevada variabilidade experimental associada à microtopografia da área e ao regime hídrico irregular. Portanto, a aplicação localizada de fósforo no sulco demonstrou ser a estratégia mais eficiente para o estabelecimento da forrageira em solos de Cerrado, minimizando a adsorção do nutriente pelos óxidos de ferro e alumínio e favorecendo o estado nutricional das plantas.

Palavras-chave: Adubação Fosfatada. Solos do Cerrado. Métodos de Semeadura. *Megathyrsus maximus*.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the influence of seeding methods and phosphate fertilization on the production of Mombasa grass (*Megathyrsus maximus* cv. Mombaça) in the Cerrado soil. The experiment was conducted in a randomized block design, combining two sowing methods (furrow and broadcast), two fertilization methods (furrow and broadcast), and three P_2O_5 doses (0, 100, and 200 kg ha⁻¹), with twelve treatments and three replications. The variables analyzed were relative chlorophyll content (SPAD) and shoot dry mass. Soil analyses indicated low levels of available phosphorus, acidic pH, and high nutrient adsorption capacity, typical characteristics of Cerrado soils. In the absence of phosphate fertilization, the plants showed the lowest TRC and MSPA values, with no significant difference between sowing and fertilization methods ($p > 0.05$). At a dose of 100 kg ha⁻¹ of P_2O_5 , an increasing trend was observed in the evaluated variables, although without statistical significance. At the highest dose (200 kg ha⁻¹ of P_2O_5), a significant effect of the treatments on the TRC ($F = 5.09$; $p < 0.05$) was observed, with emphasis on the treatment with broadcast sowing and in-furrow fertilization, which presented the highest average value (61.45 SPAD), differing statistically from sowing in furrows with broadcast fertilization (35.77 SPAD). For MSPA, no significant differences were observed between treatments at any of the evaluated doses, possibly due to the high experimental variability associated with the microtopography of the area and the irregular water regime. Localized application of phosphorus in the furrow proved to be the most efficient strategy, minimizing nutrient adsorption by iron and aluminum oxides and favoring the nutritional status of the plants.

Keywords: Phosphate Fertilization. Cerrado Soil. Sowing Methods. *Megathyrsus maximus*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Vista da área experimental.....	18
Figura 2. Vista geral da área experimental, novembro de 2025	18
Figura 3. Vista geral da área experimental, dezembro de 2025	19
Figura 4. Esquema de delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), composto por 12 tratamentos e 3 repetições, totalizando 36 parcelas experimentais. A distribuição representa a disposição aleatória dos tratamentos dentro dos blocos experimentais	19
Figura 5. Determinação do teor relativo de clorofila (TRC) em unidade SPAD na folha	21
Figura 6. Coleta da parte aérea do capim-Mombaça no dia 20/12/2025.....	22
Figura 7. Quadrado de cano PVC (0,50 x 0,50 m) para definição da área útil de coleta	22
Figura 8. Material coletado das parcelas secando em estufa de ventilação forçada à 65°C por 48 horas	23
Figura 9. Pesagem das amostras no laboratório de Fitotecnia (sala 191 do bloco 13).....	23
Figura 10. Parcelas localizadas à esquerda da área experimental	27
Figura 11. Parcelas localizadas à direita da área experimental	27
Figura 12. Pesagem de MSPA do capim-Mombaça sob diferentes tratamentos (0 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅).....	29
Gráfico 1 - Precipitação mensal agosto à dezembro /2025.....	30
Figura 13. Pesagem de MSPA do capim-Mombaça sob diferentes tratamentos (100 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅).....	31
Figura 14. Pesagem de MSPA do capim-Mombaça sob diferentes tratamentos (200 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅).....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos tratamentos	20
Tabela 2. Resultado da Análise Química.....	25
Tabela 3. Resultado da Análise Física (Textura).....	26
Tabela 4. Teor relativo de clorofila (TRC) e massa seca da parte aérea (MSPA) em função dos tratamentos, 0 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	28
Tabela 5. Teor relativo de clorofila (TRC) e massa seca da parte aérea (MSPA) em função dos tratamentos, 100 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	30
Tabela 6. Teor relativo de clorofila (TRC) e massa seca da parte aérea (MSPA) em função dos tratamentos, 200 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 Capim-Mombaça (<i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaça)	13
2.2 Fósforo (P)	13
2.3 Dinâmica do fósforo no solo.....	14
2.4 Métodos de aplicação de fósforo	16
2.5 Métodos de semeadura em pastagens	16
3. METODOLOGIA.....	17
3.1 Caracterização do local.....	17
3.2 Instalação e condução do experimento	18
3.3 Implantação do experimento	19
3.4 Manejo da adubação	20
3.5 Avaliações realizadas.....	21
3.6 Análise de solo	24
3.7 Análise estatística.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5. CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro, segundo maior Bioma do país, é conhecido por sua biodiversidade e por desempenhar um papel essencial nos sistemas agropecuários, sendo responsável por mais de 40% da produção de carne bovina e 25% da produção de grãos no Brasil (Monteiro, 2000). Essa relevância está associada à sua ampla extensão territorial e à adaptação de diversas espécies forrageiras às condições edafoclimáticas da região. No entanto, apesar do elevado potencial produtivo, os solos do Cerrado apresentam limitações naturais significativas, caracterizando-se por elevada acidez, baixa fertilidade e reduzida disponibilidade de nutrientes essenciais, com destaque para o fósforo (Novais; Smyth; Nunes, 2007).

O fósforo é um macronutriente essencial para o bom desenvolvimento das plantas forrageiras, atuando diretamente no crescimento radicular, nos processos energéticos e, conseqüentemente, na produtividade de biomassa. Ele participa de reações fundamentais, como a transferência de energia via moléculas de ATP, além de estimular o perfilhamento e a formação de raízes mais profundas e vigorosas, o que melhora a absorção de água e nutrientes. Dessa forma, o fósforo se torna um dos principais fatores limitantes para a produção de pastagens, tornando a adubação fosfatada uma prática indispensável para garantir boa produtividade e sustentabilidade dos sistemas de produção (Cardoso, 2021).

A baixa disponibilidade de fósforo está diretamente relacionada à elevada capacidade de adsorção do nutriente pelos óxidos de ferro e alumínio, predominantes nesses solos, o que reduz sua concentração na solução do solo e compromete o desempenho das culturas (Novais; Smyth; Nunes, 2007). Essa limitação torna a produção de forragem de alta qualidade em solos com baixa disponibilidade de nutrientes um dos principais desafios da pecuária no bioma (Vilela et al., 2011).

A deficiência de fósforo pode afetar diretamente o estabelecimento inicial das plantas, reduzindo o crescimento vegetativo e limitando a produção de biomassa. Em gramíneas forrageiras, essa limitação é ainda mais crítica, uma vez que o desenvolvimento inicial adequado é determinante para a formação de pastagens produtivas e persistentes (Corrêa; Haag, 1993). Entre as estratégias de adubação disponíveis, destacam-se a aplicação a lanço e a aplicação localizada no sulco de semeadura, cada uma com diferentes níveis de eficiência agrônômica dependendo das condições do solo (Resende; Furtini Neto, 2007). Além da forma de aplicação do fertilizante, o método de semeadura também exerce influência significativa sobre o estabelecimento das forrageiras e o aproveitamento dos nutrientes. A semeadura a lanço

é uma técnica amplamente utilizada na formação de pastagens, principalmente pela facilidade operacional, contudo, pode resultar em distribuição desuniforme das sementes e menor eficiência de estabelecimento. Em contrapartida, a semeadura em sulco proporciona melhor contato entre semente e solo, favorecendo a germinação, o desenvolvimento inicial das plantas e a utilização mais eficiente dos nutrientes aplicados (Jank et al., 2010).

Dentre as espécies forrageiras utilizadas nos sistemas de produção tropical, o capim-Mombaça (*Megathyrsus maximus* cv. Mombaça) é reconhecido pelo elevado potencial produtivo, alta taxa de perfilhamento e significativa resposta à adubação (Jank et al., 2010). Apresenta bom valor nutritivo, alta aceitabilidade pelos animais e ampla adaptação ao clima tropical, sendo amplamente utilizada em sistemas intensivos de produção animal. No entanto, seu desempenho produtivo está diretamente condicionado à disponibilidade de nutrientes no solo, especialmente o fósforo, que é essencial para o estabelecimento e o desenvolvimento inicial da forrageira (Florentino et al., 2019; Malavolta, 2006).

Estudos recentes têm buscado compreender a interação entre métodos de semeadura, formas de aplicação de fósforo e produção de forragem em solos de Cerrado. A aplicação localizada no sulco tende a aumentar a eficiência de uso do fósforo em comparação à aplicação superficial a lanço, especialmente em solos com alta capacidade de fixação (Resende; Furtini Neto, 2007).

Rodrigues (2025), ao avaliar o crescimento inicial do capim-Mombaça sob diferentes doses e métodos de aplicação de fósforo em solo de Cerrado, observou que a aplicação localizada no sulco proporcionou maior eficiência agronômica, promovendo melhor desenvolvimento das plantas em comparação à aplicação a lanço.

Diante do exposto, o presente trabalho propõe avaliar a influência dos métodos de semeadura e da adubação fosfatada na produção de massa seca da parte aérea e no teor relativo de clorofila do capim-Mombaça (*Megathyrsus maximus* cv. Mombaça) em solo de Cerrado, dando continuidade ao experimento conduzido por Rodrigues (2025) e ampliando a compreensão sobre as estratégias de manejo mais eficientes para o estabelecimento de pastagens produtivas no bioma.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Capim-Mombaça (*Megathyrsus maximus* cv. Mombaça)

O capim-Mombaça (*Megathyrsus maximus* cv. Mombaça) é uma das gramíneas tropicais mais produtivas utilizadas em sistemas intensivos de pecuária no Brasil. Sua elevada produção de biomassa, alta taxa de perfilhamento, bom valor nutritivo e adaptação ao clima tropical a tornam uma das principais opções forrageiras para sistemas de pastejo rotacionado e produção de volumoso (Jank et al., 2010; EMBRAPA, 2023).

Originário da África, foi lançado no Brasil pela Embrapa Gado de Corte em 1993, apresentando crescimento cespitoso, com altura média de 1,65 m, com folhas decumbentes, poucos pelos na face superior e medem em média 3 cm de largura (Jank et al., 2010). Esta gramínea é perene e cresce formando touceira, apresenta digestibilidade e palatabilidade satisfatória, exigindo temperaturas ótimas entre 19,1 e 22,9 °C sendo habitualmente utilizados para pastejo ou corte, além disso possui um elevado teor de proteína, porém isso pode variar com o período de sazonalidade da região. Esse capim tem exigência por luminosidade por ser uma planta C4 com alta taxa fotossintética, dessa forma possui baixa tolerância a locais sombreados (Sousa; Santos, 2024). O capim-Mombaça é considerado uma das forrageiras mais produtivas, podendo atingir valores de produção de matéria seca superiores a 30t/ha/ano (Jank, 1995).

A altura recomendada de entrada no pasto é de 90 cm, enquanto a saída deve ocorrer por volta de 40 cm, garantindo equilíbrio entre consumo animal e capacidade de recuperação da planta. Quando manejada abaixo dessa faixa, a planta reduz seu potencial de rebrota, quando acima, diminui o valor nutritivo e aumenta o acúmulo de material senescente (Rodrigues, 2025).

O desempenho produtivo do capim-Mombaça está diretamente condicionado à fertilidade do solo, especialmente à disponibilidade de fósforo. Em solos com baixa oferta desse nutriente, como os do Cerrado, observa-se redução no perfilhamento, menor expansão foliar e queda expressiva na produção de massa seca, comprometendo a capacidade de suporte animal e a longevidade da pastagem (Cecato et al., 2007).

2.2 Fósforo (P)

Na fase inicial de desenvolvimento das plantas forrageiras o P desempenha funções importantes. No estágio inicial do desenvolvimento da planta, há intensa atividade meristemática, devido ao desenvolvimento do sistema radicular, da emissão de estolões e do

perfilhamento, sendo também essencial para a divisão celular, devido a seu papel fazendo parte da estrutura de ácidos nucleicos (Cantarutti et al., 1999). Esse nutriente é também essencial no metabolismo das plantas na transferência de energia da célula (ATP), respiração e fotossíntese, sendo também componentes dos genes e cromossomos, do mesmo jeito que de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídeos. A inter-relação específica do nutriente P com os solos de clima tropical e sua importância no acréscimo da produção de forragem, determinam a necessidade do uso eficiente de P para alcançar uma produção satisfatória e sustentável (Santos et al., 2002). O P é um macronutriente de grande importância para avaliação do valor nutritivo de uma forragem, sendo um nutriente essencial para o crescimento das plantas, sendo assim pode ser limitante da máxima produção da cultura (Novais et al., 2007).

Diante das características dos solos brasileiros pode-se destacar a alta acidez e toxidez por Al^{3+} , assim como também a alta capacidade de fixação de P, sendo essa última característica considerada um dos fatores principais para a baixa fertilidade do solo (Novais et al., 2007). Depois do N, o P é um dos nutrientes que mais limita a produção de forragem quando em falta (Sousa; Lobato, 2004). A produtividade das plantas forrageiras é comprometida pela deficiência de P causando distúrbios severos ao metabolismo das plantas, como crescimento lento, pouco perfilhamento e desenvolvimento do sistema radicular (Werner, 1986). Dessa forma, a adubação fosfatada é considerada indispensável para o estabelecimento de pastagens (Corrêa; Haag, 1993).

A baixa disponibilidade de P no solo compromete a produtividade das plantas forrageiras, afetando também o estabelecimento da pastagem e seu valor nutritivo, prejudicando o desempenho animal (Corrêa; Haag, 1993). O metabolismo e desenvolvimento das plantas são afetados pela carência de P causando distúrbios imediatos e severos, reduz geralmente o perfilhamento, atrasa o desenvolvimento das plantas e propicia a ocupação do pasto por espécies invasoras (Werner, 1986).

2.3 Dinâmica do fósforo no solo

As plantas nutrem-se retirando o P necessário para seu desenvolvimento na solução do solo, maior parte do P absorvido pelas plantas é como íon ortofosfato primário (H_2PO_4^-) (Lopes, 1989). O P na solução do solo está em equilíbrio com o P da fase sólida, que se encontra em diferentes graus de solubilidade. De modo geral, os teores de P na solução dos solos brasileiros são muito baixos, além disso, estes solos têm alta capacidade de reter o P na fase sólida (Sousa; Lobato, 2004).

O pH é fator determinante na disponibilidade máxima de P, sendo recomendado pH ao redor de 6,5. Valores de pH mais baixos favorecem a formação de fosfatos de Fe e de Al de baixa solubilidade e valores mais altos levam a precipitação do P (solução) como fosfatos de cálcio de menor disponibilidade para as plantas. Além do pH, a quantidade e o tipo de minerais existentes na fração argila são determinantes na disponibilização de P (Malavolta, 1979). Portanto, a indisponibilização de P pode ser tão mais intensa quanto mais intemperizado, ácido, argiloso e oxidico for o solo (Resende; Furtini Neto, 2007).

No solo, a mobilidade do P é extremamente reduzida, sendo sua disponibilidade às plantas condicionada pelo equilíbrio dinâmico entre três compartimentos: o P em solução (fator intensidade), o P-lábil (fator quantidade) e o P não-lábil. O P em solução, presente predominantemente nas formas aniônicas H_2PO_4^- e $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$, move-se por difusão até a superfície radicular, onde é absorvido. À medida que a absorção reduz a concentração de P na solução, esse déficit é compensado pela dessorção do P-lábil, fração adsorvida reversível e prontamente mobilizável ou pela aplicação de fertilizantes fosfatados. O P não lábil, fortemente retido nos coloides do solo por adsorção específica ou precipitação, reabastece a solução de forma muito lenta e em magnitude limitada, sendo considerado praticamente indisponível às plantas no curto prazo. A velocidade e a intensidade desse reabastecimento dependem do poder tampão de fósforo do solo, que é particularmente elevado em solos do Cerrado em razão da presença de óxidos de ferro e alumínio (Novais; Smyth, 1999).

Na difusão o íon se movimenta através da solução do solo em curta distância. Sendo eficiente quando as condições físico-hídricas do solo se encontram adequadas para o bom desenvolvimento das plantas, do contrário haverá redução na absorção de P. Logo após o contato do íon com a raiz, a absorção do mineral ocorre passivamente, sem gasto energético por parte da célula (Gurgel et al., 2020).

O P participa de um ciclo biogeoquímico considerado relativamente lento, pois não apresenta fase gasosa significativa na atmosfera. Seu ciclo ocorre predominantemente entre as rochas, o solo, a água e os organismos vivos. A principal fonte natural de P são as rochas fosfatadas, que, ao sofrerem intemperismo, liberam fosfatos para o solo. Esses fosfatos passam a compor a solução do solo, sendo absorvidos pelas plantas e posteriormente transferidos aos animais por meio da cadeia alimentar. Após a morte dos organismos ou eliminação de resíduos orgânicos, o P retorna ao solo através da decomposição da matéria orgânica, podendo novamente ser absorvido pelas plantas ou ser adsorvido aos minerais do solo (Malavolta, 2006).

Além das interações químicas no solo, fatores ambientais como pH, teor de argila, umidade e atividade microbiana influenciam intensamente o ciclo biogeoquímico do P. Em

condições de baixa umidade, a difusão do nutriente até as raízes torna-se limitada, enquanto em ambientes muito úmidos podem ocorrer perdas por erosão e transporte superficial de partículas contendo P. A matéria orgânica também exerce papel importante nesse ciclo, pois atua tanto como reservatório quanto como fonte gradual do nutriente durante os processos de mineralização (Novais; Smyth, 1999).

2.4 Métodos de aplicação de fósforo

A comparação entre os métodos de aplicação de P a lanço e no sulco tem sido objeto de numerosos estudos em solos de Cerrado, dado o impacto direto na eficiência de uso do nutriente. A aplicação no sulco concentra o fertilizante próximo à semente ou ao sistema radicular em desenvolvimento, reduzindo o contato com as partículas do solo e retardando a fixação, o que resulta em maior disponibilidade do nutriente durante a fase crítica de estabelecimento da forrageira (Resende; Furtini Neto, 2007).

Por outro lado, a aplicação a lanço, por sua vez, distribui o fertilizante superficialmente em toda a área, favorecendo a fixação rápida nos solos argilosos do Cerrado e resultando em menor eficiência agronômica no curto prazo. No entanto, essa modalidade pode ser adequada para adubações de manutenção em pastagens já estabelecidas, nas quais o sistema radicular está distribuído em maior volume de solo (Cantarutti et al., 1999; Sousa, 2001).

Resende e Furtini Neto (2007) observaram que a aplicação localizada de P em linha aumenta significativamente a eficiência agronômica em pastagens tropicais em comparação à aplicação superficial. Esse resultado reforça a recomendação técnica de priorizar a aplicação no sulco durante a implantação de pastagens em solos com alta capacidade de fixação, como os latossolos e argissolos predominantes no Cerrado.

2.5 Métodos de semeadura em pastagens

Entre os métodos de semeadura utilizados na formação de pastagens, dois métodos são amplamente adotados: a semeadura a lanço e a semeadura em sulco, os quais apresentam diferenças operacionais importantes que resultam em respostas distintas quanto ao estabelecimento das plantas, à eficiência de aproveitamento de nutrientes e à dinâmica de crescimento das forrageiras, (Dias-Filho, 2012; Resende; Furtini Neto, 2007).

A semeadura em sulco permite maior controle da profundidade de deposição da semente, favorecendo contato mais uniforme com o solo úmido, reduzindo perdas superficiais e favorecendo uma emergência mais uniforme e melhor aproveitamento dos fertilizantes

aplicados de forma localizada. Essa prática tende a resultar em maior porcentagem de emergência e estandes mais uniformes, especialmente em condições de baixa fertilidade natural (Rodrigues, 2025).

A semeadura a lanço é amplamente utilizada em sistemas extensivos devido à praticidade operacional, rapidez de execução e menor custo de implantação. No entanto, esse método pode promover distribuição irregular das sementes sobre a superfície do solo, reduzindo o contato com a umidade e comprometendo a germinação e o estabelecimento uniforme das plantas. Além disso, as sementes ficam mais suscetíveis a perdas causadas pelo vento, escoamento superficial e impacto das chuvas, favorecendo falhas no estande e maior competição com plantas daninhas, especialmente em condições edafoclimáticas adversas comuns no Cerrado (Dias-Filho, 2012).

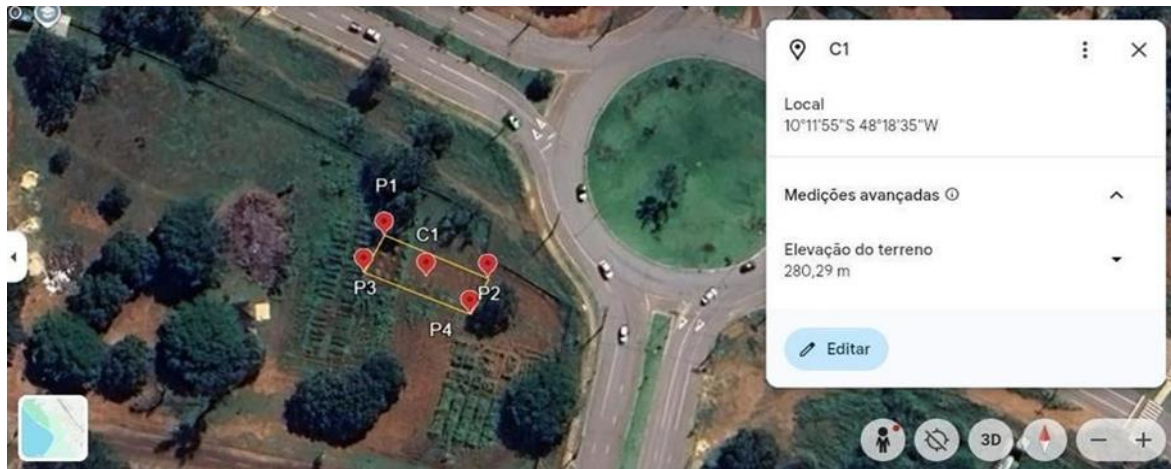
Rodrigues (2025), em estudo conduzido no mesmo ambiente experimental do presente trabalho, observou que parcelas com semeadura em sulco associadas a maiores doses de fósforo apresentaram maior vigor inicial, maior altura de plantas e melhor formação do dossel. Esses resultados evidenciam a importância da interação entre o método de semeadura e a estratégia de adubação para maximizar o desempenho da forrageira.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização do local

O estudo foi realizado em uma área do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Palmas*, localizada no município de Palmas, estado do Tocantins, destinada à experimentação. As coordenadas geográficas da área são 10°11'55'' de latitude sul e 48°18'35'' de longitude oeste, com altitude média de 280,29 metros (Rodrigues, 2025), conforme ilustrado na Figura 1. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Aw, caracterizado como tropical quente e úmido, com duas estações bem definidas: uma estação seca, entre os meses de maio e setembro, e uma estação chuvosa, entre outubro e abril. Contendo uma média anual de precipitação em torno de 1690 mm, concentrado entre os meses de outubro a maio. O experimento foi conduzido entre os meses de novembro e dezembro de 2025.

Figura 1. Vista da área experimental



Fonte: Rodrigues, 2025.

3.2 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em área previamente estabelecida por Rodrigues (2025), a qual foi utilizada durante dois anos consecutivos para o cultivo de forrageiras, especificamente *Megathyrus maximus* cv. Mombaça.

Durante esse período, foram realizadas práticas de manejo visando à correção da fertilidade do solo, incluindo a aplicação de calcário dolomítico (PRNT 92,2%). Antes da implantação do experimento, foi realizado o revolvimento do solo, bem como uma nova aplicação de calcário, totalizando 575 kg entre os dias 12 e 14 de fevereiro de 2025 (Rodrigues, 2025).

A área experimental está ilustrada na Figura 2 e Figura 3.

Figura 2. Vista geral da área experimental, novembro de 2025



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 3. Vista geral da área experimental, dezembro de 2025



Fonte: Autoria própria, 2025.

3.3 Implantação do experimento

A implantação do experimento seguiu a metodologia descrita por Rodrigues (2025), utilizando a cultivar Mombaça (*Megathyrsus maximus* cv. Mombaça), com semeadura realizada em 28 de fevereiro de 2025.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), combinando 3 doses de P_2O_5 (0, 100 e 200 kg ha⁻¹), 2 métodos de semeadura (sulco e a lanço) e 2 métodos de adubação (sulco e a lanço), composto por 12 tratamentos e 3 repetições, totalizando 36 parcelas experimentais de 1 m² cada, distribuídas em uma área total de 242,3 m². O esquema da área experimental está representado na Figura 4.

Figura 4. Esquema de delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), composto por 12 tratamentos e 3 repetições, totalizando 36 parcelas experimentais. A distribuição representa a disposição aleatória dos tratamentos dentro dos blocos experimentais

Bloco I	T3 P1	T8 P2	T10 P3	T1 P4	T4 P5	T12 P6	T5 P7	T6 P8	T2 P9	T7 P10	T11 P11	T9 P12
	T8 P13	T12 P14	T3 P15	T7 P16	T10 P17	T2 P18	T9 P19	T4 P20	T11 P21	T6 P22	T5 P23	T1 P24
	T11 P25	T5 P26	T9 P27	T2 P28	T6 P29	T7 P30	T12 P31	T8 P32	T1 P33	T10 P34	T3 P35	T4 P36

Fonte: Autoria própria, 2026.

Os tratamentos foram definidos pela combinação entre:

- Métodos de semeadura (a lanço e em sulco);
- Métodos de aplicação de fósforo (a lanço e no sulco);
- Doses de P_2O_5 (0, 100 e 200 kg ha⁻¹).

A estrutura metodológica (Tabela 1) foi baseada em delineamento semelhante ao descrito por Rodrigues (2025).

Tabela 1. Descrição dos tratamentos

Tratamento	Semeadura	Adubação	Dose (kg ha⁻¹)
T1	No sulco	No sulco	0
T2	No sulco	No sulco	100
T3	No sulco	No sulco	200
T4	No sulco	A lanço	0
T5	No sulco	A lanço	100
T6	No sulco	A lanço	200
T7	A lanço	No sulco	0
T8	A lanço	No sulco	100
T9	A lanço	No sulco	200
T10	A lanço	A lanço	0
T11	A lanço	A lanço	100
T12	A lanço	A lanço	200

Fonte: Rodrigues, 2025.

3.4 Manejo da adubação

A adubação fosfatada foi realizada em 06 de março de 2025, conforme descrito por Rodrigues (2025), considerando três doses de P_2O_5 (0, 100 e 200 kg ha⁻¹), aplicadas em dois métodos: a lanço e no sulco.

Nas parcelas com aplicação no sulco, os fertilizantes foram distribuídos diretamente nas linhas de semeadura. Já nas parcelas com aplicação a lanço, os fertilizantes foram distribuídos de forma superficial sobre toda a área da parcela. As fontes utilizadas incluíram superfosfato simples como fonte de fósforo, uréia como fonte de nitrogênio e sulfato de potássio como fonte de potássio.

Posteriormente, foi realizada a adubação de cobertura em 22 de abril de 2025, com aplicação uniforme de uréia em todas as parcelas, visando suprir a demanda de nitrogênio e favorecer o crescimento inicial da forrageira.

3.5 Avaliações realizadas

O presente estudo consistiu na continuidade do experimento conduzido por Rodrigues (2025), com foco na avaliação do crescimento inicial do capim-Mombaça.

Foram analisadas as seguintes variáveis, com o objetivo de avaliar a influência dos métodos de semeadura e da adubação fosfatada na produção do capim-Mombaça (*Megathyrus maximus* cv. Mombaça) sobre os seguintes parâmetros:

- Massa seca da parte aérea (g m^2) (MSPA);
- Teor relativo de clorofila (TRC) em unidade SPAD.

Essas variáveis permitiram observar o desempenho fisiológico e produtivo das forrageiras sob diferentes condições de adubação fosfatada.

No dia 08/12/2025 foram coletados os dados para a análise da variável teor relativo de clorofila (em unidade SPAD) na folha (Figura 5), as leituras foram realizadas com o clorofilômetro modelo Minolta SPAD 502 no período matutino em 5 folhas aleatória por parcela.

Figura 5. Determinação do teor relativo de clorofila (TRC) em unidade SPAD na folha



Fonte: Autoria própria, 2025.

No dia 20/12/2025 foi realizada a coleta da parte aérea das plantas (Figura 6). Foi utilizado um quadrado de cano PVC ($0,50 \times 0,50$ cm), lançado aleatoriamente dentro de cada parcela para definição da área útil de coleta (Figura 7). Com o uso de uma régua graduada de 60 cm, foram coletadas as folhas da forrageira num comprimento linear de 40 cm acima do solo, armazenadas em sacos de papel identificados com o tratamento e número da parcela e levados para secagem em estufa de ventilação forçada à 65°C por 48 horas (Figura 8), até o peso constante. Posteriormente, no dia 22/12/2025 houve a pesagem das amostras (Figura 9) no laboratório de Fitotecnia (sala 191 do bloco 13) na balança analítica e a anotação desses dados, dos quais foram inseridos na planilha eletrônica disponibilizada pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar, 2026).

Figura 6. Coleta da parte aérea do capim-Mombaça no dia 20/12/2025



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 7. Quadrado de cano PVC ($0,50 \times 0,50$ m) para definição da área útil de coleta



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 8. Material coletado das parcelas secando em estufa de ventilação forçada à 65°C por 48 horas



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 9. Pesagem das amostras no laboratório de Fitotecnia (sala 191 do bloco 13)



Fonte: Autoria própria, 2025.

3.6 Análise de solo

Rodrigues (2025) realizou a caracterização química e física do solo da área experimental de forragicultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – *Campus Palmas*. A coleta de amostras de solo foi realizada em 20 de agosto de 2025, com o objetivo de avaliar os efeitos das diferentes doses e métodos de aplicação de fósforo nas características químicas do solo. Foram coletadas amostras compostas representativas de cada tratamento, formadas por subamostras provenientes das parcelas experimentais. As análises foram realizadas em laboratório especializado, garantindo precisão e confiabilidade dos resultados.

3.7 Análise estatística

Os dados referentes à produção de massa seca da parte aérea e teor de clorofila foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA). Quando observadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o objetivo de identificar quais tratamentos apresentaram diferenças estatísticas entre si. As análises foram realizadas com auxílio da planilha eletrônica disponibilizada pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar, 2026).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o livro *Cerrado: Correção do Solo e Adubação* (Sousa; Lobato, 2004), as características do solo podem ser compreendidas a partir de sua composição química e física, incluindo os teores de nutrientes como Ca, Mg, K e P, além das frações de argila, silte e areia. Esses atributos são fundamentais para avaliar a fertilidade do solo e as condições necessárias para o manejo.

Com base na análise de solo (Tabela 2), os valores de pH em H₂O (4,93 - 5,66) e em CaCl₂ (4,31–5,04) variam de levemente a moderadamente ácidos, padrão esperado para solos intemperizados (Raij, 2011). Os maiores valores de acidez foram observados na amostra testemunha sulco 0 e na dose 200 a lanço, indicando condições mais limitantes ao desenvolvimento radicular.

Os teores de Al³⁺ (0,10 - 0,33 cmol_c dm⁻³) e a saturação por alumínio (m% = 3,39 - 21,85%) foram mais elevados nos tratamentos sem calagem efetiva, evidenciando que, onde a correção foi parcialmente eficiente, houve precipitação do Al³⁺ em formas menos tóxicas às

plantas, reduzindo sua atividade na solução do solo e favorecendo o desenvolvimento radicular (Novais et al., 2007; Raij, 2011). Todos os tratamentos apresentaram V% inferior a 50%, classificando o solo como distrófico, com CTC total entre 5,12 e 6,17 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, considerada média para solos do Cerrado (Sousa; Lobato, 2004).

Os teores de Ca^{2+} (0,77 - 1,80 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e Mg^{2+} (0,37–1,15 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) foram baixos a médios, sendo os menores valores registrados na dose 200 a lanço. O K^+ foi muito baixo em todos os tratamentos (0,02 - 0,04 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), abaixo do nível crítico de 0,08 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para solos do Cerrado, indicando deficiência generalizada desse nutriente independentemente do modo de aplicação de P (Sousa; Lobato, 2004; Malavolta, 2006).

Conforme análise pelo método Mehlich⁻¹, os teores de P foram muito baixos a baixos em todos os tratamentos (0,04 - 1,70 mg dm^{-3}), mesmo sob doses elevadas de adubação fosfatada. Esse comportamento indica elevada adsorção do nutriente, característica típica de solos do Cerrado, que apresentam alta capacidade de fixação de fósforo devido à presença de óxidos de ferro e alumínio e à sua mineralogia altamente intemperizada (Novais et al., 2007; Malavolta, 2006).

De modo geral, esses resultados indicam que a aplicação de fósforo a lanço apresenta menor eficiência agrônômica quando comparada à aplicação localizada, especialmente em solos com alta capacidade de fixação (Novais et al., 2007; Sousa; Lobato, 2004).

Tabela 2. Resultado da Análise Química

Descrição da amostra	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	P (Meh)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC	V	m
	-		$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$						$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$		%	
Testemunha sulco 0	5,04	4,41	0,04	0,04	1,06	0,59	0,30	3,80	1,69	5,49	30,78	15,08
Dose 100 no sulco	5,57	4,94	0,04	0,02	1,34	0,93	0,10	3,10	2,29	5,39	42,49	4,18
Dose 200 no sulco	5,31	4,68	1,58	0,03	1,21	0,48	0,25	3,40	1,72	5,12	33,59	12,69
Testemunha a lanço 0	5,64	5,01	0,04	0,03	1,67	1,15	0,10	3,20	2,85	6,05	47,11	3,39
Dose 100 a lanço	5,66	5,04	1,70	0,04	1,80	0,93	0,10	3,40	2,77	6,17	44,89	3,48
Dose 200 a lanço	4,93	4,31	0,36	0,04	0,77	0,37	0,33	4,10	1,18	5,28	22,35	21,85

Fonte: Rodrigues, 2025.

A análise física (Tabela 3) evidenciou textura média a médio-argilosa, com predominância da fração areia (572 g kg^{-1}), seguida de argila (324 g kg^{-1}) e menores teores de silte (104 g kg^{-1}). Essa distribuição granulométrica é característica de solos do Cerrado, que, embora apresentem boa drenagem, possuem elevada capacidade de adsorção de fósforo devido à presença de argila e óxidos de ferro e alumínio (Cordeiro et al., 2021; Novais et al., 2007).

Tabela 3. Resultado da Análise Física (Textura)

Descrição da amostra	Areia	Argila	Silte	Água Disponível	
	g kg ⁻¹			mm/cm	Classe AD
Testemunha sulco 0	572	324	104	0,95	AD4
Dose 100 no sulco	556	342	102	0,97	AD4
Dose 200 no sulco	558	347	95	0,97	AD4
Testemunha a lanço 0	582	320	98	0,94	AD4
Dose 100 a lanço	565	341	94	0,96	AD4
Dose 200 a lanço	577	321	102	0,95	AD4

Fonte: Rodrigues, 2025.

A relativa uniformidade das frações granulométricas entre os tratamentos indica homogeneidade da área experimental, condição essencial para a confiabilidade dos resultados, uma vez que reduz interferências associadas à variabilidade física do solo (Raij, 2011). Além disso, a classificação da água disponível como AD4 indica adequada capacidade de retenção hídrica, favorecendo o estabelecimento inicial do capim-Mombaça, uma vez que a disponibilidade de água influencia diretamente a absorção de nutrientes e o crescimento vegetal (Malavolta, 2006).

Apesar do teor moderado de argila, a presença de óxidos de ferro e alumínio associados a essa fração contribui significativamente para a fixação de fósforo, reduzindo sua disponibilidade às plantas. Simultaneamente, o elevado teor de areia pode limitar a retenção de água no solo, reduzindo a difusão do fósforo até o sistema radicular. Essa interação entre fatores físicos e químicos reforça a importância da aplicação localizada do fertilizante como estratégia para aumentar sua eficiência (Novais et al., 2007; Sousa; Lobato, 2004).

No que se refere ao desempenho das plantas, os tratamentos que associaram aplicação localizada de fósforo às maiores doses (100 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅) apresentaram melhor desenvolvimento vegetativo. Resultados semelhantes foram observados por Cecato et al.; (2007), que verificaram aumento no perfilhamento e na produção de massa seca em doses superiores a 110-135 kg ha⁻¹ de P₂O₅, especialmente quando o nutriente foi aplicado próximo ao sistema radicular.

Adicionalmente, observações de campo evidenciaram influência da microtopografia sobre o desenvolvimento das plantas. Nas parcelas situadas à esquerda da área experimental (Figura 10), houve maior produção de biomassa e maior perfilhamento do capim-Mombaça. Em contrapartida, nas áreas à direita (Figura 11), observou redução no desenvolvimento vegetal, possivelmente em função do excesso hídrico, que compromete a aeração do solo, limita o crescimento radicular e reduz a absorção de nutrientes (Dias-Filho, 2012).

Esses resultados corroboram os obtidos por Rodrigues (2025), que observou que a declividade do terreno influenciou significativamente o desempenho da cultura, parcelas localizadas em áreas mais elevadas apresentaram melhor desenvolvimento, enquanto aquelas situadas em leves depressões sofreram com acúmulo de água e redução no crescimento, independentemente das doses aplicadas. Portanto, o sucesso do estabelecimento do capim-Mombaça depende da interação entre dose adequada de fósforo, forma de aplicação e condições físicas do solo, especialmente drenagem e topografia.

Figura 10. Parcelas localizadas à esquerda da área experimental



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 11. Parcelas localizadas à direita da área experimental



Fonte: Autoria própria, 2025.

Na ausência de adubação fosfatada (0 kg ha^{-1} de P_2O_5) as plantas apresentaram baixo desempenho, caracterizado por reduzida produção de MSPA (Figura 12) e menores valores de TRC (Tabela 4). Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre os métodos de semeadura e aplicação de fósforo, uma vez que os valores de F calculados

(0,12 para TRC e 2,01 para MSPA). A média geral observada foi de 37,46 SPAD para TRC e 49,82 g m² para MSPA. O CV para TRC foi de 19,63%, sendo considerado médio, o que indica boa precisão experimental. Por outro lado, o CV da MSPA foi de 109,32%, classificado como muito alto, indicando baixa precisão experimental. Esse comportamento indica que, em condições de deficiência, o fósforo atua como principal fator limitante, restringindo o crescimento vegetal independentemente do manejo adotado. Esse resultado está de acordo com Malavolta (2006), que destaca o papel essencial do fósforo na formação de ATP e nos processos fotossintéticos.

Entretanto, é importante destacar que o CV elevado (109,32%) indica alta variabilidade experimental (Pimentel-Gomes, 2009), possivelmente associada à heterogeneidade da área, influenciada por fatores como microtopografia e distribuição irregular de umidade no solo (Montanari et al., 2012). Essa variabilidade pode ter reduzido a sensibilidade estatística para detectar diferenças entre tratamentos. De acordo com Pimentel-Gomes (2009), coeficientes de variação acima de 30% já indicam baixa precisão experimental, sendo comuns em experimentos de campo com forrageiras devido à maior heterogeneidade das condições experimentais.

Tabela 4. Teor relativo de clorofila (TRC) e massa seca da parte aérea (MSPA) em função dos tratamentos, 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅

Tratamentos (0 kg ha⁻¹ de P₂O₅)	TRC (SPAD) 08/12/2025	MSPA (g m²) 20/12/2025
T1: Semeadura Sulco/Adubação Sulco	37,62	17,00
T4: Semeadura Sulco/Adubação Lanço	37,53	6,82
T7: Semeadura Lanço/Adubação Sulco	35,53	96,88
T10: Semeadura Lanço/Adubação Lanço	39,15	78,56
F	0,12 ns	2,01 ns
Média Geral	37,46	49,82
CV (%)	19,63	109,32

Nível de significância: *: 5%. Letras iguais não diferenciam entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

CV (%): coeficiente de variação.

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 12. Pesagem de MSPA do capim-Mombaça sob diferentes tratamentos (0 kg ha^{-1} de P_2O_5)

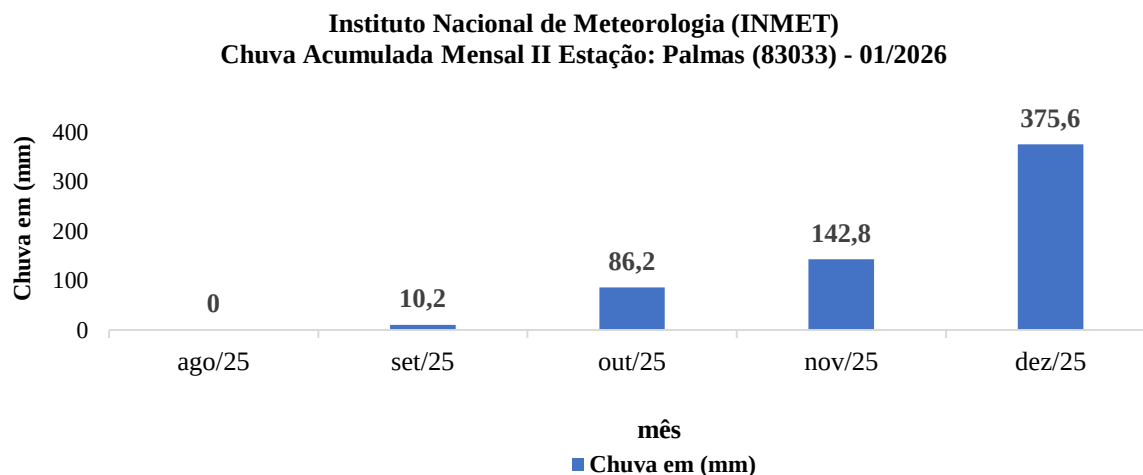


Fonte: Autoria própria, 2025.

As condições climáticas, especialmente a precipitação nos meses que antecederam a coleta de dados (Gráfico 1), contribuíram para a variabilidade observada. Houve déficit hídrico acentuado em agosto (0 mm) e setembro (10,2 mm), seguido de retomada das chuvas em outubro (86,2 mm) e novembro (142,8 mm), com aumento significativo em dezembro (375,6 mm), indicando uma transição abrupta entre período seco e chuvoso (Silva; Assad; Evangelista, 2008).

Essa variação exerce influência direta sobre a dinâmica do P no solo, visto que, em condições de baixa umidade, a difusão do nutriente é limitada, reduzindo sua disponibilidade às raízes, enquanto o excesso de água, particularmente em áreas com menor drenagem associadas à microtopografia, pode provocar saturação do solo, comprometendo a aeração radicular e reduzindo a absorção de nutrientes (Malavolta, 2006). Além disso, a maior umidade do solo pode ter favorecido a adsorção de fósforo aos óxidos de ferro e alumínio, reduzindo sua disponibilidade, especialmente nos tratamentos com aplicação a lanço, nos quais há maior contato do fertilizante com o solo (Novais et al., 2007).

Para espécies C4 como o capim-Mombaça, tanto o déficit quanto o excesso hídrico comprometem processos fisiológicos essenciais como fotossíntese, perfilhamento e crescimento radicular, sendo que áreas com menor capacidade de drenagem tendem a apresentar menor acúmulo de biomassa, reforçando que a variabilidade observada no experimento resulta da interação entre os fatores edáficos dos tratamentos e as condições climáticas do período (Cavalcante; Lima, 2010; Montanari et al., 2012).

Gráfico 1. Precipitação mensal de agosto à dezembro/2025

Fonte: INMET, 2026.

Na dose intermediária (100 kg ha^{-1} de P_2O_5), observou-se aumento nos valores de MSPA (Figura 13) e TRC em relação à testemunha (Tabela 5), evidenciando resposta positiva das plantas à adubação. Porém, assim como observado na dose zero, não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, embora o valor de F para TRC (3,15) seja superior ao observado anteriormente. Esse resultado sugere que, apesar de o fósforo já estar disponível em maior quantidade, o nível ainda não é suficiente para evidenciar a influência dos métodos de aplicação. Segundo Raij (2011), em níveis intermediários de fertilidade, a resposta das plantas ocorre de forma gradual, sem necessariamente diferenciar práticas de manejo.

Tabela 5. Teor relativo de clorofila (TRC) e massa seca da parte aérea (MSPA) em função dos tratamentos, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5

Tratamentos (100 kg ha^{-1} de P_2O_5)	TRC (SPAD) 08/12/2025	MSPA (g m^2) 20/12/2025
T2: Semeadura Sulco/Adubação Sulco	44,37	61,10
T5: Semeadura Sulco/Adubação Lanço	51,54	51,04
T8: Semeadura Lanço/Adubação Sulco	41,56	155,44
T11: Semeadura Lanço/Adubação Lanço	39,45	23,55
F	3,15 ns	2,07 ns
Média Geral	44,23	72,78
CV (%)	11,63	94,93

Nível de significância: *: 5%. Letras iguais não diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

CV (%): coeficiente de variação.

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 13. Pesagem de MSPA do capim-Mombaça sob diferentes tratamentos (100 kg ha^{-1} de P_2O_5)



Fonte: Autoria própria, 2025.

Os resultados apresentados na Tabela 6 evidenciaram efeito estatisticamente significativo dos tratamentos para o TRC, ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) ($F = 5,09$), indicando resposta das plantas à adubação fosfatada, enquanto para a variável MSPA não foi observada diferença significativa entre os tratamentos, cujo valor de F (0,67) não atingiu significância estatística, indicando que as variações observadas podem estar associadas à variabilidade intrínseca da área experimental (Pimentel-Gomes, 2009; Banzatto; Kronka, 2013).

Esses resultados sugerem que o método de aplicação do fósforo influenciou o estado nutricional das plantas, refletido nos valores de TRC, mas não foi suficiente para promover diferenças na produção de MSPA (Figura 14) no período avaliado. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que variáveis fisiológicas, como o teor de clorofila, tendem a responder mais rapidamente à disponibilidade de nutrientes do que variáveis produtivas, como a massa seca, que dependem de maior tempo de acúmulo de biomassa (Malavolta, 2006; Raij, 2011).

Além disso, a aplicação localizada no sulco tende a apresentar maior eficiência agrônômica, pois reduz o contato do fósforo com o solo, minimizando sua adsorção por óxidos de ferro e alumínio, característica típica de solos do Cerrado, aumentando, assim, sua disponibilidade para absorção pelas plantas (Novais et al., 2007; Resende; Furtini Neto, 2007).

Tabela 6. Teor relativo de clorofila (TRC) e massa seca da parte aérea (MSPA) em função dos tratamentos, 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅

Tratamentos (200 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)	TRC (SPAD) 08/12/2025	MSPA (g m ²) 20/12/2025
T3: Semeadura Sulco/Adubação Sulco	46,64 ab	91,97
T6: Semeadura Sulco/Adubação Lanço	35,77 b	102,55
T9: Semeadura Lanço/Adubação Sulco	61,45 a	50,73
T12: Semeadura Lanço/Adubação Lanço	42,39 ab	64,04
F	5,09 *	0,67 ns
Média Geral	46,56	77,32
CV (%)	17,94	66,03

Nível de significância: *: 5%. Letras iguais não diferenciam entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

CV (%): coeficiente de variação.

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 14. Pesagem de MSPA do capim-Mombaça sob diferentes tratamentos (200 kg ha⁻¹ de P₂O₅)



Fonte: Autoria própria, 2025.

Dessa forma, o TRC demonstrou estar diretamente relacionado à disponibilidade de fósforo no solo e aos métodos de aplicação, evidenciando resposta significativa à adubação fosfatada. Por outro lado, a produção de MSPA apresentou tendência de aumento com a elevação das doses de fósforo, porém sem diferença estatística significativa no período avaliado, indicando que a resposta produtiva pode demandar maior tempo ou estar condicionada a fatores adicionais, como variabilidade ambiental e condições edáficas (Malavolta, 2006; Raij, 2011).

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos evidenciam que o crescimento inicial do capim-Mombaça (*Megathyrsus maximus* cv. Mombaça) em solos de Cerrado é fortemente influenciado pelas estratégias de adubação fosfatada e pelo método de semeadura adotado. A ausência de fósforo resultou nos menores valores de teor relativo de clorofila (TRC) e produção de massa seca da parte aérea (MSPA), confirmando a limitação nutricional típica desses solos e a essencialidade do nutriente para o estabelecimento da forrageira.

A aplicação localizada no sulco apresentou indícios de maior eficiência em relação à aplicação a lanço, possivelmente por reduzir o contato do fertilizante com os colóides do solo e a adsorção do fosfato por óxidos de ferro e alumínio. Contudo, essa tendência não foi confirmada estatisticamente para a MSPA, que apresentou apenas aumento numérico com a elevação das doses, sem diferença significativa no período avaliado. Já o TRC respondeu significativamente à adubação fosfatada, indicando melhora no estado nutricional das plantas.

A combinação entre semeadura em sulco e adubação localizada apresentou os valores numericamente mais favoráveis, em consonância com Rodrigues (2025). Ainda assim, estudos com maior tempo de avaliação são necessários para confirmar estatisticamente essa tendência. Do ponto de vista prático, os resultados sugerem que a aplicação localizada de fósforo pode ser uma estratégia promissora para a implantação de pastagens de capim-Mombaça em Cerrado, devendo essa recomendação ser validada por estudos complementares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 237 p. (Reimpressão 2013).

CANTARUTTI, R. B.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, M. M.; FONSECA, D. M.; ARRUDA, M. L.; VILELA, H.; OLIVEIRA, F. T. T. Pastagens. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: UFV/CFSEMG, 1999. p. 332-341.

CARDOSO, Mara Régia de Sousa. **Produção do capim-Mombaça (*Megathyrsus maximus*) com adubação fosfatada única ou parcelada**. 2021. Monografia (Curso de Zootecnia) - Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2021.

CAVALCANTE, A. C. R.; LIMA, N. R. C. B. **Respostas das plantas forrageiras ao déficit hídrico**. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2010. 54 p. (Documentos, n. 89). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/748148/1/doc89.pdf>. Acesso em: 12 maio 2026.

CECATO, U. et al. Características morfogênicas do capim-Mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) adubado com fontes de fósforo, sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1139-1147, 2007.

CORDEIRO, L. A. M. et al. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de textura arenosa com fertilidade construída no bioma Cerrado. **Revista Agrogeoambiental**, v. 13, n. 3, p. 1-15, set. 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1139672/1/Capacidade-de-adsorcao-de-fosforo-em-solos-2021.pdf>. Acesso em: 11 maio 2026.

CORRÊA, L. A.; HAAG, H. P. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras em Latossolo Vermelho-Amarelo, álico. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 50, n. 1, p. 99-108, 1993. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/Bftp4nfwWKcG8gHRhjTdpv/>. Acesso em: 09 maio 2026.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Documentos, 402). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/986147>. Acesso em: 14 maio 2026.

DIAS-FILHO, M. B. **Formação e manejo de pastagens**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2012. 9 p. (Documentos, n. 235). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/937485/formacao-e-manejo-de-pastagens>. Acesso em: 01 maio 2026.

EMBRAPA. **Cultivares de *Panicum maximum***. Brasília: Embrapa Gado de Corte, [s.d.]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/cultivar/panicum-maximum>. Acesso em: 01 maio 2026.

FERREIRA, E. M.; SANTOS, A. C.; ARAÚJO, L. C.; CUNHA, O. F. R. Características agronômicas do *Panicum maximum* cv. "Mombaça" submetido a níveis crescentes de fósforo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1022-1028, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/ZJdLY7Jf4MBP9cSMqVbZ3vn/>. Acesso em: 12 maio 2026.

FLORENTINO, L. S.; SANTOS, R. M.; OLIVEIRA, A. A.; LANDES, T. S.; PICAZEVICZ, A. A. C. Crescimento do capim *Panicum maximum* cv. Mombaça em resposta à adubação fosfatada na Amazônia ocidental. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 16, n. 30, p. 156, 2019. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2019b/crescimento.pdf>. Acesso em: 11 maio 2026.

GURGEL, A. L. C.; SANTANA, J. C. S.; THEODORO, G. F.; DIFANTE, G. S.; ALMEIDA, E. M.; ARCANJO, A. H. M.; COSTA, C. M.; COSTA, A. B. G.; FERNANDES, P. B. Compactação do solo: efeitos na nutrição mineral e produtividade de plantas forrageiras. **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 22, n. 1, p. 13-29, 2020. Disponível em: <http://ediurcamp.urcamp.edu.br/index.php/RCR/article/view/3154>. Acesso em: 11 maio 2026. DOI: <https://doi.org/10.30945/rcr-v22i1.3154>.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados meteorológicos históricos**: estação convencional de Palmas – TO (código 83033), agosto a dezembro de 2025. Brasília: INMET, 2026. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 10 jan. 2026.

JANK, L. Melhoramento e seleção de variedades de *Panicum maximum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12., Piracicaba, 1995. Anais. Piracicaba: FEALQ, 1995. p.21-58.

JANK, L.; MARTUSCELLO, J. A.; EUCLIDES, V. P. B.; VALLE, C. B.; RESENDE, R. M. S. *Panicum maximum*. In: FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A. (ed.). **Plantas forrageiras**. Viçosa: Editora UFV, 2010. p. 166-196.

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 153 p.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 255 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MONTANARI, R. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área cultivada com forrageira no Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 843-850, 2012.

MONTEIRO, G. F. **Embrapa Cerrados: conhecimento, tecnologia e compromisso ambiental**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2000. 34 p. (Documentos, n. 4, ISSN 1517-5111). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/555083/1/doc04.pdf>. Acesso em: 11 maio 2026.

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

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

PACHECO, L. P. et al. Profundidade de semeadura e crescimento inicial de espécies forrageiras utilizadas para cobertura do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1211-1218, set./out. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000500019>.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2011. 420 p.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E. **Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos do Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 32 p. (Documentos, n. 195). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/572251/1/doc195.pdf>. Acesso em: 11 maio 2026.

RODRIGUES, Emanuele Monteiro. **Avaliação do crescimento inicial do capim-Mombaça sob doses crescentes de fósforo e métodos de aplicação em solo de Cerrado**. 2025. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Palmas*, Palmas, TO, 2025.

SANTOS, H. Q.; FONSECA, D. M.; CANTARUTTI, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 173-182, 2002.

SILVA, F. A. M. da; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. Caracterização climática do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Orgs.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 69-88.

SOUSA, A. P. W. P.; SANTOS, A. C. Características estruturais e produtivas do capim-Mombaça sob sombreamento, na fase de estabelecimento. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, ed. 246, v. 12, 2024. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/caracteristicas-estruturais-e-produtivas-do-capim-mombaca-sob-sombreamento-na-fase-de>. Acesso em: 05 maio 2026.

SOUSA, D. M. G. **Adubação fosfatada para manutenção de pastagem de Brachiaria decumbens**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 5 p. (Comunicado Técnico, n. 53). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/566167/1/comtec53.pdf>. Acesso em: 11 maio 2026.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/554847>. Acesso em: 06 maio 2026.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p. 147-168.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS (UFSCar). **Planilha eletrônica para análise de variância e teste de Tukey**. São Carlos: UFSCar, 2026.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, out. 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266889309>. Acesso em: 11 maio 2026.

WERNER, J. C. Nutrição mineral das forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 8., 1986, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1986. p. 101-131.