

ROSELY FERREIRA DE OLIVEIRA



**ADUBAÇÃO FOSFATADA NO DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO
DO CAPIM-MOMBAÇA (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça)**

RIO BRANCO - AC

2026

ROSELY FERREIRA DE OLIVEIRA

**ADUBAÇÃO FOSFATADA NO DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO
DO CAPIM-MOMBAÇA (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Elízio Ferreira Frade Júnior

RIO BRANCO - AC

2026

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

O48a Oliveira, Rosely Ferreira de, 1999 -
Adubação fosfatada no desenvolvimento e produção do
campim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) /
Rosely Ferreira de Oliveira; orientador: Prof. Dr. Elízio Ferreira
Frade Júnior. – 2026.
55 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre,
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Rio Branco,
2026.

Inclui referências bibliográficas e apêndice.

1. Fertilidade do solo. 2. Forragem tropical. 3. Biomassa. I. Frade
Júnior, Elízio Ferreira (orientador). II. Título.

CDD: 338.1

Bibliotecária: Alanna Santos Figueiredo – CRB 11º/1003.

ROSELY FERREIRA DE OLIVEIRA

**ADUBAÇÃO FOSFATADA NO DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DO
CAPIM-MOMBAÇA (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça)**

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Produção Vegetal, Centro
de Ciências Biológicas e da Natureza,
Universidade Federal do Acre, como parte
das exigências para obtenção do título de
Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada em 20 de fevereiro de 2026

Banca examinadora:



Documento assinado digitalmente
BRUNA LAURINDO ROSA
Data: 07/03/2026 00:25:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Bruna Laurindo Rosa
Docente da UFAC/CCBN
(Membro)



Documento assinado digitalmente
EDUARDO PACCA LUNA MATTAR
Data: 08/03/2026 11:40:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Eduardo Pacca Luna Mattar
Docente da UFAC/CCBN
(Membro)



Documento assinado digitalmente
ELIZIO FERREIRA FRADE JUNIOR
Data: 08/03/2026 17:16:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Elizio Ferreira Frade Junior
Docente da UFAC/CCBN
(Orientador)

**RIO BRANCO
ACRE – BRASIL**

A Deus, à minha família

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por conceder força, sabedoria e perseverança ao longo de toda esta jornada, tornando possível a conclusão deste trabalho. Aos meus pais, pelo apoio incondicional, incentivo constante e pelos valores transmitidos, fundamentais para minha formação pessoal e acadêmica. Às minhas irmãs, pelo carinho, compreensão e apoio durante todo o percurso do mestrado.

À Universidade Federal do Acre (UFAC) e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade de formação acadêmica e científica, bem como pela infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento deste estudo.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pelos ensinamentos, contribuições científicas e pela formação transmitida ao longo do curso, que foram essenciais para o meu crescimento acadêmico.

À Coordenadora do Programa de Pós-Graduação, Dra. Regina Lúcia Félix Ferreira, pelo apoio, dedicação e condução das atividades do curso. Ao meu orientador, Dr. Elízio Ferreira Frade Júnior, pela orientação, disponibilidade, paciência e contribuições fundamentais para o desenvolvimento e a finalização deste trabalho.

Aos colegas do curso de mestrado, pela convivência, troca de experiências e apoio mútuo ao longo dessa caminhada acadêmica. Aos alunos de graduação que contribuíram para o desenvolvimento do experimento, pelo auxílio nas atividades práticas e pelo comprometimento demonstrado durante a condução do trabalho.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

“Seja forte e corajosa”

Josué 1:9

RESUMO

As pastagens constituem a base da alimentação dos bovinos no Brasil, sendo o capim-Mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) uma das forrageiras tropicais de maior potencial produtivo. Em solos tropicais, a baixa disponibilidade de fósforo (P) é um dos principais fatores limitantes ao crescimento inicial e à produtividade das gramíneas. O objetivo da pesquisa foi avaliar o desenvolvimento e a produção de biomassa do capim-Mombaça submetido a diferentes doses de adubação fosfatada. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal do Acre (UFAC), no período de outubro de 2024 a fevereiro de 2025, em delineamento inteiramente casualizado, com seis doses de P_2O_5 (0, 100, 200, 400, 600 e 800 kg ha^{-1}), quatro repetições e três cortes avaliativos (45, 90 e 135 dias após o plantio). Foram avaliadas altura de plantas, número de perfilhos, biomassa fresca e biomassa seca foliar. Os dados foram submetidos ao teste de Grubbs, análise de variância teste F a 1% de probabilidade e análise de regressão. A ausência de fósforo resultou nos menores valores para todas as variáveis em todas as épocas avaliadas, confirmando o caráter limitante desse nutriente no solo estudado. A adubação fosfatada promoveu incremento significativo na altura, no perfilhamento e na biomassa, com resposta mais expressiva aos 45 e 90 dias. A dose de 200 kg ha^{-1} apresentou maior influência sobre o perfilhamento, enquanto a biomassa foi maximizada com 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Para a altura, os maiores incrementos ocorreram até 400 kg ha^{-1} ; entretanto, de modo geral, as doses acima de 100 kg ha^{-1} não diferiram estatisticamente entre si, indicando estabilização da resposta produtiva. As doses entre 100 e 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 são tecnicamente adequadas para o estabelecimento e desenvolvimento do capim-Mombaça em solo de baixa fertilidade, limitando aplicações superiores sem ganhos produtivos proporcionais.

Palavras-chave: Fertilidade do solo; Forragens tropicais; Pecuária intensiva; Produção de biomassa.

ABSTRACT

Pastures are the basis of cattle feeding in Brazil, and Mombaça grass (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) is among the tropical forages with the highest productive potential. In tropical soils, low phosphorus (P) availability is one of the main factors limiting early growth and grass productivity. This study aimed to evaluate the development and biomass production of Mombaça grass subjected to different rates of phosphate fertilization. The experiment was carried out in a greenhouse at the Federal University of Acre (UFAC) from October 2024 to February 2025, in a completely randomized design with six P_2O_5 rates (0, 100, 200, 400, 600, and 800 kg ha⁻¹), four replications, and three harvests (45, 90, and 135 days after planting). Plant height, tiller number, fresh biomass, and leaf dry biomass were evaluated. Data were subjected to the Grubbs test, analysis of variance (F test at 1% probability), and regression analysis. The absence of phosphorus resulted in the lowest values for all variables at all evaluation times, confirming the limiting role of this nutrient in the studied soil. Phosphate fertilization significantly increased height, tillering, and biomass, with a more pronounced response at 45 and 90 days. The rate of 200 kg ha⁻¹ had the greatest influence on tillering, whereas biomass was maximized at 100 kg ha⁻¹ P_2O_5 . For plant height, the largest increases occurred up to 400 kg ha⁻¹; however, overall, rates above 100 kg ha⁻¹ did not differ statistically, indicating stabilization of the productive response. Rates between 100 and 200 kg ha⁻¹ P_2O_5 are technically adequate for the establishment and development of Mombaça grass in low-fertility soil, avoiding higher applications without proportional yield gains.

Keywords: Soil fertility; Tropical forages; Intensive livestock production; Biomass production.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Atributos químicos e físicos do Argissolo utilizado no experimento (0–0,20 m)	24
Tabela 2.	Massa fresca e massa seca foliar, altura e número de perfilhos como efeito secundário de experimento para avaliação de doses e épocas de corte de capim-Mombaça (<i>Panicum maximum</i>)	31
Tabela 3.	Altura de plantas em função do desdobramento de efeito de doses de fósforo dentro das e épocas de corte de Capim-mombaça (<i>Panicum maximum</i>).....	32
Tabela 4.	Biomassa fresca em função do desdobramento do efeito de doses de fósforo dentro das épocas de corte de Capim-Mombaça (<i>Panicum maximum</i>)	37
Tabela 5.	Massa seca em função do desdobramento do efeito de doses de fósforo dentro das épocas de corte de Capim-Mombaça (<i>Panicum maximum</i>)	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Precipitação (mm) e temperatura do ar (°C) no período experimental (outubro/2024 a fevereiro/2025), Rio Branco–AC	23
Figura 2.	Determinação da capacidade de campo por saturação e drenagem livre em solo utilizado no experimento	26
Figura 3.	Semeadura em vaso de <i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça	27
Figura 4.	Síntese ilustrativa do arranjo e metodologia de desenvolvimento experimental.....	28
Figura 5.	Secagem de <i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça em estufa de circulação de ar forçada	29
Figura 6.	Capim-Mombaça (<i>Panicum maximum</i>) em casa de vegetação, sob manejo de corte: (A) detalhe do perfilhamento/rebrota em vaso; (B) visão geral das unidades experimentais; (C) aspecto das plantas após o corte e em rebrota..	30
Figura 7.	Altura de plantas em função do desdobramento do efeito de doses de fósforo dentro das épocas de corte do Capim-Mombaça (<i>Panicum maximum</i>)	34
Figura 8.	Número de perfilhos de plantas em função do desdobramento do efeito de doses de fósforo dentro das épocas de corte do Capim-Mombaça (<i>Panicum maximum</i>)	36
Figura 9.	Biomassa fresca vegetal em função do desdobramento do efeito de doses de fósforo dentro das épocas de corte do Capim-Mombaça (<i>Panicum maximum</i>)	39
Figura 10.	Biomassa vegetal seca foliar em função do desdobramento do efeito de doses de fósforo dentro das épocas de corte de Capim-Mombaça (<i>Panicum maximum</i>).....	41

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Efeito da interação da época de corte e das doses na altura de Mombaça	52
APÊNDICE B – Efeito secundário dentro do primário, número de perfilhos	52
APÊNDICE C – Efeito secundário dentro do primário, massa fresca	52
APÊNDICE D – Efeito secundário dentro do primário, massa seca foliar	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Pastagens tropicais e degradação	15
2.2 Capim-Mombaça (<i>Panicum maximum</i> CV. Mombaça)	17
2.3 Fósforo em solos tropicais intemperizados	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Localização e caracterização ambiental	23
3.2 Coleta, classificação e caracterização do solo	23
3.3 Unidades experimentais e dimensionamento dos vasos	25
3.4 Determinação da capacidade de campo e manejo da irrigação	25
3.5 Correção da acidez do solo e incubação.....	26
3.6 Delineamento experimental e adubação fosfatada	27
3.7 Implantação, manejo de plantas, cortes e adubação nitrogenada	27
3.8 Parâmetros vegetativos.....	29
3.9 Análise estatística.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5 CONCLUSÕES.....	44
REFERÊNCIAS	45
APÊNDICES	50

1 INTRODUÇÃO

A pecuária bovina brasileira ocupa posição estratégica na economia nacional e no comércio internacional de alimentos. Em 2024, a cadeia da carne bovina movimentou cerca de R\$ 1 trilhão, equivalente a 8,4% do Produto Interno Bruto brasileiro, consolidando o país entre os principais protagonistas mundiais do setor. Esse desempenho está fortemente associado à ampla utilização de pastagens nos sistemas de produção, o que reforça a importância do manejo adequado dessas áreas para a sustentabilidade da atividade (ABIEC, 2025).

Apesar de sua relevância econômica, a pecuária baseada em pastagens enfrenta limitações relacionadas à degradação dessas áreas. A perda de vigor e produtividade das forrageiras compromete a eficiência dos sistemas e amplia a necessidade de intensificação sustentável, sobretudo em regiões onde a expansão da atividade ocorre sob forte pressão sobre os recursos naturais. Nesse contexto, o manejo da fertilidade do solo constitui um dos principais pilares para a recuperação e manutenção da produtividade das pastagens (Stabile *et al.*, 2023).

No contexto regional, o estado do Acre tem apresentado expansão expressiva da pecuária bovina. Entre 2013 e 2024, houve crescimento de 62% do rebanho, acompanhado da ampliação da área de pastagens e do aumento da taxa de lotação, indicando trajetória de intensificação produtiva no estado (Fernandes *et al.*, 2025). Esse cenário reforça a necessidade de estratégias capazes de elevar a produtividade das áreas já estabelecidas, especialmente em ambientes com limitações edáficas e nutricionais.

Na Amazônia Ocidental, a baixa fertilidade natural e a elevada acidez dos solos representam entraves importantes ao desenvolvimento das forrageiras cultivadas. No Acre, muitos solos apresentam baixos teores de fósforo disponível, condição que restringe o crescimento vegetal e reduz a eficiência produtiva das pastagens, sobretudo em sistemas com baixa reposição de nutrientes (Wadt, 2002).

Entre as gramíneas tropicais de maior potencial produtivo, o capim-Mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) destaca-se pela elevada produção de biomassa e pela boa resposta ao manejo intensivo da fertilidade. Entretanto, por se tratar de uma forrageira exigente em nutrientes, seu desempenho depende do adequado suprimento mineral, principalmente de fósforo, nutriente essencial ao

estabelecimento, ao crescimento e ao perfilhamento das plantas (Pause *et al.*, 2021; Melo *et al.*, 2023).

Do ponto de vista fisiológico, o fósforo participa de processos fundamentais, como transferência de energia, fotossíntese, síntese de compostos orgânicos e desenvolvimento inicial do sistema radicular. Sua deficiência compromete o crescimento, reduz o perfilhamento e limita o acúmulo de biomassa, enquanto seu suprimento equilibrado favorece o desenvolvimento e a persistência das forrageiras tropicais (Taiz *et al.*, 2017; Khan *et al.*, 2023).

Dessa forma, a definição de doses adequadas de fósforo torna-se essencial para elevar a eficiência produtiva do capim-Mombaça em solos intemperizados e com baixa disponibilidade do nutriente, como os encontrados em grande parte da Amazônia. Nesse sentido, compreender a resposta agrônômica da forrageira à adubação fosfatada é fundamental para subsidiar estratégias de manejo mais eficientes e compatíveis com a intensificação sustentável da pecuária regional.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento agrônômico e a produção de biomassa do capim-Mombaça submetido a diferentes doses de adubação fosfatada, visando identificar o nível de adubação mais eficiente em Argissolo na região de Rio Branco, Acre.

2 REVISÃO DE LITERATURA

No contexto da intensificação sustentável da pecuária baseada em pastagens, o manejo da fertilidade do solo constitui estratégia central para mitigar a degradação e elevar a produtividade de forrageiras tropicais. Em ambientes amazônicos, a baixa disponibilidade natural de fósforo, associada à acidez do solo e à elevada retenção do nutriente na fase sólida, impõe restrições ao estabelecimento e à persistência de gramíneas de alto potencial produtivo, como o capim-Mombaça. Nessas condições, a adubação fosfatada assume papel determinante, por influenciar diretamente o crescimento vegetal, a dinâmica morfogênica e a produção de biomassa, com reflexos sobre a estrutura do dossel e a eficiência do sistema pecuário (Khan *et al.*, 2023; Melo *et al.*, 2023).

2.1 Pastagens tropicais e degradação

A pecuária bovina brasileira ocupa posição estratégica na produção de alimentos e na economia nacional, sustentada, em grande medida, por sistemas baseados em pastagens tropicais. Nesse modelo, a forragem constitui o principal alimento do rebanho e representa a base bioeconômica da produção, uma vez que combina menor custo alimentar com ampla adaptação às condições climáticas do país. Revisão recente destaca que a bovinocultura de corte em pastagens tropicais no Brasil ainda apresenta grande potencial de incremento produtivo, sobretudo quando associada ao manejo adequado da pastagem, da fertilidade do solo e da lotação animal (Barbero *et al.*, 2021).

No estado do Acre, a pecuária de corte tem apresentado expansão expressiva nas últimas décadas, acompanhada do aumento do rebanho, da área de pastagens e da taxa de lotação. Essa evolução reforça a importância econômica da atividade no estado, mas também evidencia a necessidade de intensificação tecnicamente orientada, especialmente em sistemas que dependem fortemente do desempenho das pastagens. Estudo recente sobre a dinâmica da pecuária bovina acreana mostrou crescimento de 62% do rebanho entre 2013 e 2024, ao mesmo tempo em que houve expansão da área de pastagens e avanço de indicadores produtivos, o que confirma a centralidade dessa atividade para o setor agropecuário regional (Fernandes *et al.*,

2025).

Apesar da importância do setor, a degradação de pastagens continua sendo um dos principais entraves à sustentabilidade da pecuária tropical. Estimativas recentes indicam grande extensão de áreas com algum grau de degradação no Brasil, com efeitos sobre a produtividade animal, a qualidade da forragem e a eficiência de uso da terra, além de elevar a pressão por abertura de novas áreas (BOLFE *et al.*, 2024). Em campo, o processo degradativo costuma estar associado a manejo inadequado, superpastejo e, principalmente, baixa reposição de nutrientes e limitações de fertilidade (Teles *et al.*, 2025).

Do ponto de vista forrageiro, as pastagens cultivadas no país são dominadas por gramíneas como *Urochloa* (sin. *Brachiaria*), *Panicum* e *Andropogon*, cuja escolha varia conforme condições edafoclimáticas e nível tecnológico. Em sistemas extensivos, *Urochloa* predomina pela rusticidade e tolerância a solos ácidos; já em sistemas com maior investimento, *Panicum maximum* se destaca pelo maior potencial produtivo e elevada resposta ao manejo. A seleção correta da espécie, alinhada ao ambiente e ao objetivo de uso, pode elevar a produtividade e favorecer estratégias de recuperação de áreas degradadas (Bolfé *et al.*, 2024; Gonçalves *et al.*, 2023).

Nesse contexto, degradação não se resume à queda de produção de forragem, mas resulta da interação de fatores biológicos, químicos e físicos, frequentemente acompanhada por redução da cobertura do solo, invasoras, compactação, erosão e empobrecimento nutricional. Nesse sentido, o monitoramento sistemático da fertilidade, com base em análises de solo, é medida essencial para diagnosticar limitações e orientar correções e adubações de forma mais eficiente (Silva *et al.*, 2025).

Assim, a intensificação sustentável da pecuária baseada em pastagens depende da combinação entre escolha adequada da forrageira, manejo correto do pastejo e melhoria contínua da fertilidade do solo. Em regiões como o Acre, onde a expansão da atividade pecuária ocorre paralelamente ao desafio de manter a produtividade das áreas já abertas, a recuperação e o manejo adequado das pastagens tornam-se elementos centrais para aumentar a eficiência do sistema sem ampliar a pressão sobre novos ambientes. Nessa perspectiva, a compreensão dos fatores que condicionam a degradação e a persistência das gramíneas forrageiras é fundamental para embasar estratégias de manejo mais eficientes e compatíveis com

a sustentabilidade da produção animal em base pastoril (Fernandes *et al.*, 2025; Bolfe *et al.*, 2024; Silva *et al.*, 2025).

2.2 Capim-Mombaça (*Panicum maximum* CV. Mombaça)

O *Panicum maximum* cv. Mombaça, destaca-se entre as gramíneas tropicais de maior interesse para a pecuária brasileira em razão de seu elevado potencial de produção de forragem, da boa qualidade nutricional e da ampla adaptação a sistemas intensivos de pastejo. Estudos recentes indicam que essa forrageira apresenta elevada capacidade de acúmulo de biomassa e bom desempenho sob manejo adequado, o que explica sua ampla utilização em sistemas de produção animal baseados em pastagens tropicais (Silva *et al.*, 2021; Mota *et al.*, 2024).

O desempenho do capim-Mombaça está diretamente relacionado à estrutura do dossel, à dinâmica de perfilhamento e à capacidade de rebrota após a desfolhação. Em condições de manejo ajustadas, a cultivar apresenta estabilidade populacional de perfilhos e elevada taxa de acúmulo de forragem, características essenciais para a manutenção da produtividade da pastagem ao longo do tempo. Nesse sentido, o manejo da altura e da frequência de pastejo exerce influência decisiva sobre a interceptação de luz, a emissão de novos perfilhos e a renovação de tecidos, afetando diretamente a persistência e a eficiência de uso da forrageira (Silva *et al.*, 2021; Carnevalli *et al.*, 2021; Mota *et al.*, 2024).

Além do manejo do pastejo, o comportamento produtivo dessa gramínea sofre forte influência das condições ambientais, especialmente da disponibilidade hídrica. Em ambientes tropicais, a sazonalidade climática interfere no ritmo de crescimento, no acúmulo de biomassa e na composição da forragem produzida. Em estudo recente, verificou-se que o déficit hídrico reduziu a produtividade e alterou a composição nutricional do capim-Mombaça, demonstrando que a limitação de água compromete tanto o crescimento quanto a qualidade da forragem. Em contrapartida, sob condições de irrigação e manejo controlado, a cultivar apresentou melhor desempenho morfoagronômico, reforçando que a disponibilidade hídrica adequada favorece seu estabelecimento e produção (Alsunaydi *et al.*, 2024; Miranda *et al.*, 2025).

A fertilidade do solo também constitui fator central para a expressão do potencial produtivo do capim-Mombaça. Por se tratar de uma gramínea de elevado

rendimento, sua resposta agrônômica depende do adequado suprimento de nutrientes, principalmente em sistemas intensivos, nos quais há maior extração mineral pela forragem produzida. Entre os nutrientes essenciais, o fósforo assume papel de destaque por participar de processos fisiológicos fundamentais ao crescimento vegetal, como transferência de energia, desenvolvimento radicular e formação de novos tecidos. Assim, em solos com baixa disponibilidade desse nutriente, o crescimento inicial, o perfilhamento e o acúmulo de biomassa da forrageira tendem a ser severamente limitados (Melo *et al.*, 2023).

Em *Panicum maximum*, há evidências recentes de que tanto a deficiência quanto o excesso de fósforo podem alterar parâmetros morfogênicos e químicos importantes para o desempenho da forrageira. Melo *et al.* (2023) demonstraram que condições contrastantes de disponibilidade de P afetaram a dinâmica de crescimento, a composição estrutural e o rendimento de matéria seca da espécie, indicando que a resposta produtiva ocorre dentro de uma faixa de maior equilíbrio fisiológico. Esse comportamento é particularmente relevante em estudos com diferentes doses de fósforo, pois evidencia que a produtividade não cresce de forma indefinida com o aumento da adubação, podendo ocorrer estabilização ou queda da resposta em níveis mais elevados do nutriente (Melo *et al.*, 2023).

A importância do fósforo para o estabelecimento do capim-Mombaça também tem sido confirmada em estudos conduzidos sob condições experimentais no Brasil. Araújo *et al.* (2024), avaliando diferentes doses de fósforo, verificaram maior produtividade do capim-Mombaça nas parcelas adubadas em comparação à testemunha sem fósforo, evidenciando que o suprimento adequado desse nutriente favorece o acúmulo de forragem e melhora o desempenho agrônômico da cultura. Esses resultados reforçam que, em solos com baixa disponibilidade natural de P, a ausência de adubação pode comprometer o estabelecimento da pastagem, retardar o crescimento inicial e reduzir a competitividade da forrageira no sistema produtivo (Araújo *et al.*, 2024).

Outro aspecto relevante é que o potencial do capim-Mombaça somente se expressa plenamente quando há integração entre manejo de pastejo, disponibilidade hídrica e fertilidade do solo. Em outras palavras, a eficiência produtiva dessa forrageira resulta da interação entre fatores ambientais e práticas de manejo, e não apenas de sua capacidade genética de produção. Meta-análise recente demonstrou que

estratégias adequadas de manejo para cultivares Mombaça e Tanzânia favorecem melhor aproveitamento da forragem e maior eficiência do sistema de produção animal, o que confirma a necessidade de compreender o comportamento da cultivar dentro de uma abordagem sistêmica (Mota *et al.*, 2024).

Dessa forma, o capim-Mombaça representa uma forrageira de elevado interesse para a intensificação sustentável da pecuária baseada em pastagens. Seu alto potencial de produção, associado à boa qualidade da forragem e à resposta positiva ao manejo, justifica sua ampla adoção em sistemas tropicais. Contudo, a expressão desse potencial depende de condições adequadas de água, fertilidade e manejo do pastejo, com destaque para a disponibilidade de fósforo, nutriente essencial ao estabelecimento, ao perfilhamento e ao acúmulo de biomassa. Assim, o estudo da resposta do capim-Mombaça à adubação fosfatada é fundamental para orientar estratégias de manejo mais eficientes, especialmente em solos ácidos e de baixa disponibilidade de P (Alsunaydi *et al.*, 2024; Melo *et al.*, 2023; Araújo *et al.*, 2024).

2.3 Fósforo em solos tropicais intemperizados

Em solos tropicais intemperizados, como Latossolos e Argissolos, a disponibilidade de fósforo (P) é, em geral, reduzida, em decorrência do intenso intemperismo, da elevada acidez e da expressiva presença de óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) na fração mineral. Nessas condições, o P constitui um dos nutrientes mais limitantes à produtividade vegetal, uma vez que grande parte do fosfato adicionado ao sistema é rapidamente adsorvida em superfícies reativas ou convertida em formas de baixa labilidade, o que diminui sua permanência na solução do solo e restringe sua absorção pelas raízes (Silva *et al.*, 2023; Zandoná *et al.*, 2025; Pires *et al.*, 2025).

A limitação desse nutriente não decorre apenas de sua baixa concentração na solução do solo, mas também de sua reduzida mobilidade. O P desloca-se predominantemente por difusão, de modo que seu suprimento às raízes depende da manutenção de gradientes de concentração entre a solução do solo e a rizosfera. Em solos com elevada capacidade de sorção, esses gradientes são rapidamente desfeitos, pois o fosfato é retido na fase sólida antes de alcançar o sistema radicular

em quantidade suficiente para atender à demanda da planta. Como consequência, a eficiência agronômica da adubação fosfatada tende a ser limitada, sobretudo no curto prazo (Fang *et al.*, 2024; Sica *et al.*, 2025).

Sob o ponto de vista químico, essa restrição está associada, principalmente, à interação do fosfato com argilas e com óxidos e hidróxidos de Fe e Al. Em condições de pH mais baixo, as formas solúveis de fosfato tornam-se mais suscetíveis à formação de associações estáveis com esses constituintes, reduzindo sua disponibilidade para as plantas. Dessa forma, a baixa recuperação do fertilizante fosfatado pelas culturas em solos tropicais está fortemente relacionada à elevada reatividade mineral e à capacidade do solo em imobilizar o nutriente logo após sua aplicação (Pires *et al.*, 2025; Zandoná *et al.*, 2025).

Nesse contexto, a adubação fosfatada deve ser entendida como uma estratégia de manejo voltada não apenas à reposição de P no sistema, mas também ao aumento da fração lábil do nutriente na região de maior exploração radicular, buscando reduzir sua imobilização imediata no solo. Nessa perspectiva, a definição da fonte, da dose e da forma de aplicação deve ser ajustada às características edáficas e às exigências da cultura, considerando fatores como capacidade de sorção, teor prévio de P disponível, umidade do solo, espécie cultivada e fase de maior demanda fisiológica, de modo a compatibilizar a oferta de P com a necessidade da planta e aumentar a eficiência agronômica da adubação (McDowell *et al.*, 2024).

Nesse sentido, a aplicação localizada de fontes minerais solúveis pode favorecer a eficiência inicial da adubação, uma vez que reduz a área de contato entre o fertilizante e o solo e cria uma zona enriquecida em P nas proximidades das sementes ou das raízes jovens. Essa estratégia tende a favorecer a absorção nas fases iniciais de crescimento, quando o estabelecimento da cultura depende fortemente do desenvolvimento radicular. Em contrapartida, materiais de menor solubilidade ou com composição nutricional menos compatível com a demanda da planta podem apresentar menor eficiência agronômica quando posicionados de forma concentrada, justamente por liberarem o nutriente em ritmo inferior ao exigido pelo sistema (Inácio *et al.*, 2025).

Do ponto de vista fisiológico, o P é um macronutriente essencial ao funcionamento vegetal, por integrar compostos estruturais e metabólicos indispensáveis ao crescimento. Ele participa da constituição de ácidos nucleicos,

fosfolipídios de membranas e compostos fosforilados envolvidos na conservação e transferência de energia, como ATP e açúcares fosfatados. Em razão disso, o suprimento adequado de P é decisivo para processos como divisão celular, crescimento radicular, fotossíntese, respiração e síntese de novos tecidos (Khan *et al.*, 2023).

Quando há deficiência, a planta tende a reduzir a expansão da parte aérea, modificar a arquitetura radicular e alterar o padrão de alocação de biomassa, o que compromete a taxa de crescimento e o estabelecimento inicial da cultura. Além disso, o P apresenta elevada mobilidade interna, podendo ser remobilizado de folhas mais velhas para tecidos jovens e órgãos em crescimento. Essa característica explica, em parte, a manifestação de sintomas de deficiência em folhas maduras e evidencia que a eficiência de uso do nutriente depende não apenas de sua absorção pelas raízes, mas também da capacidade da planta de redistribuí-lo, reciclá-lo e reutilizá-lo internamente (Fang *et al.*, 2024; Sun *et al.*, 2023).

Em forrageiras tropicais, a limitação de P assume importância ainda maior por comprometer atributos diretamente relacionados ao estabelecimento, à persistência e à produtividade do pasto. Em *Panicum maximum*, por exemplo, a deficiência e o excesso de P provocam alterações morfogênicas e químicas relevantes. Em condições de deficiência, há redução do número de perfilhos e do teor de proteína; em condições de excesso, observa-se aumento da proporção de material morto e de lignina, redução da relação folha:colmo e diminuição da produção de matéria seca. Esses resultados demonstram que a resposta da forrageira ao P não segue padrão estritamente linear, uma vez que tanto a carência quanto o excesso podem comprometer a eficiência fisiológica e produtiva da planta (Melo *et al.*, 2023).

Resultados semelhantes têm sido observados em estudos com capim-Mombaça submetido a doses crescentes de P. Em condições experimentais, parcelas adubadas apresentaram maior produtividade que a testemunha sem aplicação do nutriente, confirmando que o suprimento fosfatado é determinante para o estabelecimento e o acúmulo de forragem da espécie. Em termos agrônômicos, isso significa que, em solos tropicais intemperizados e pobres em P disponível, a ausência de adubação compromete o fechamento do dossel, reduz a ocupação do solo e enfraquece a competitividade da forrageira no sistema produtivo (Araújo *et al.*, 2024).

Entretanto, a elevação da dose aplicada não deve ser interpretada, por si só,

como garantia de maior desempenho. A literatura recente indica que o manejo do P deve buscar faixas de maior eficiência agronômica, e não simplesmente o aumento indiscriminado da adubação. Nessa perspectiva, o uso de fontes solúveis continua sendo alternativa importante para o suprimento inicial do nutriente, especialmente na implantação das pastagens. Todavia, sua eficiência depende do atendimento aos princípios do manejo racional de nutrientes, com definição da fonte, da dose, do local e do momento mais adequados à condição edáfica e à exigência da cultura (Sica *et al.*, 2025).

De forma geral, o posicionamento de fontes solúveis pode ampliar o suprimento inicial de P, estimular o crescimento radicular na zona fertilizada e favorecer o estabelecimento da cultura. Ainda assim, o sucesso dessa prática depende de fatores como sorção do solo, disponibilidade hídrica, quantidade aplicada e solubilidade do fertilizante. Assim, no contexto desta dissertação, a expressão “aplicação estratégica” refere-se à combinação tecnicamente fundamentada entre fonte, dose e posicionamento do fertilizante, com o objetivo de maximizar o P lábil próximo às raízes e minimizar sua imobilização precoce no solo (Pires *et al.*, 2025).

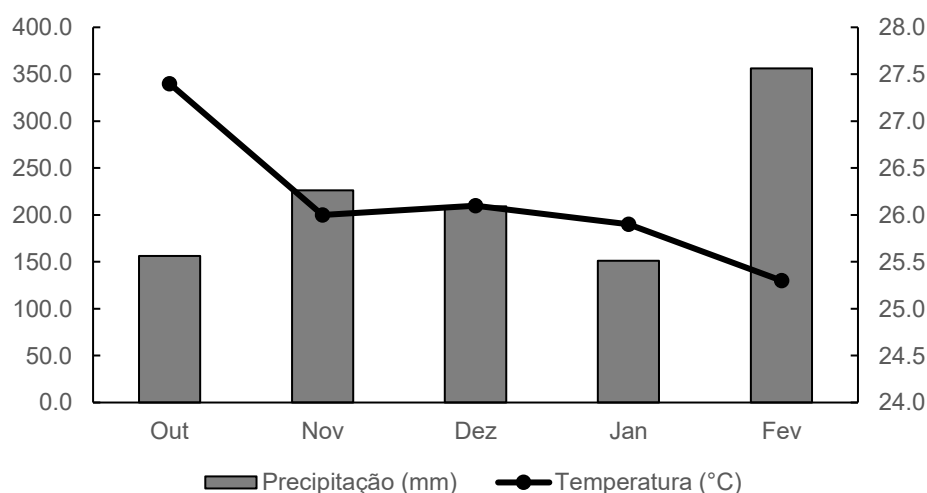
O P ocupa posição central na dinâmica do sistema solo-planta em ambientes tropicais intemperizados. No solo, sua disponibilidade é restringida pela forte adsorção, pela baixa mobilidade e pela elevada reatividade com Fe e Al. Na planta, sua deficiência compromete processos energéticos, crescimento radicular, perfilhamento, expansão foliar e acúmulo de biomassa. Sob o ponto de vista do manejo, sua eficiência depende da compatibilização entre atributos do solo, exigência da cultura e estratégia de fertilização. Por essa razão, a compreensão integrada da dinâmica do P no solo e na planta é essencial para definir recomendações mais eficientes de adubação e sustentar a intensificação produtiva de pastagens tropicais com maior racionalidade agronômica (Khan *et al.*, 2023; Melo *et al.*, 2023).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização ambiental

O experimento foi conduzido no Campo Experimental da Universidade Federal do Acre (UFAC), em Rio Branco–AC, no período de outubro de 2024 a fevereiro de 2025. A área situa-se nas coordenadas 9°57'35" S e 67°52'12" W, com altitude aproximada de 159 m, inserida na Mesorregião do Vale do Acre. O clima regional é classificado como Am (Köppen), com precipitação média anual em torno de 2.400 mm, temperatura média de 27,6 °C e umidade relativa média de 85% (Alvares *et al.*, 2013; IBGE, 2019). As condições meteorológicas observadas durante a condução do ensaio (outubro/2024 a fevereiro/2025) são apresentadas na Figura 1.

Figura 1. Precipitação (mm) e temperatura do ar (°C) no período experimental (outubro/2024 a fevereiro/2025), Rio Branco–AC



Fonte: INMET (2025).

3.2 Coleta, classificação e caracterização do solo

O solo utilizado no experimento foi coletado em área de pastagem localizada nas proximidades da Unidade de Tecnologia de Alimentos (UTAL), no campus da Universidade Federal do Acre (UFAC), município de Rio Branco, AC. A área encontrava-se em repouso há vários anos, sem histórico recente de intervenções de manejo (adubações, calagem ou preparo mecânico), de modo a representar uma

condição edáfica de baixa interferência antrópica.

A amostragem foi realizada em pontos distribuídos em uma área considerada homogênea quanto ao relevo e à cobertura vegetal (pastagem), compondo-se uma amostra composta da camada superficial de 0–20 cm, conforme procedimentos recomendados para caracterização da fertilidade do solo. Após a coleta, o material foi destorroado, homogeneizado, seco ao ar e peneirado em malha de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA) para as análises laboratoriais.

A classificação pedológica seguiu o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), sendo o solo enquadrado como Argissolo Amarelo distrófico, conforme o Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre – Fase III (Acre, 2021; Santos *et al.*, 2018). Geologicamente, o solo integra a Formação Solimões, cujos sedimentos argilo-arenosos são frequentemente associados a restrições de drenagem e baixa disponibilidade natural de fósforo (Araújo *et al.*, 2002).

A caracterização química e física foi realizada por laboratório credenciado, adotando metodologias compatíveis com o Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (Teixeira *et al.*, 2017). Determinaram-se pH em água, fósforo e potássio disponíveis pelo extrator Mehlich-1, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%). A textura foi obtida por análise granulométrica (frações areia, silte e argila) por método de rotina recomendado (Teixeira *et al.*, 2017). De modo geral, os resultados indicam baixa fertilidade natural e teor muito baixo de P disponível no solo.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do Argissolo utilizado no experimento (0–0,20 m)

Atributos Químicos	Unidades	Valores
pH	H ₂ O	5,1
P Mehlich	mg.dm ³	1,6
K Mehlich	mg.dm ³	16,5
K Mehlich	cmol _c .dm ³	0,04
Ca	cmol _c .dm ³	0,8
Mg	cmol _c .dm ³	0,3
Al	cmol _c .dm ³	3,8
H + Al	cmol _c .dm ³	9,3
SB (Soma das bases)	cmol _c .dm ³	1,14
C.T.C (pH 7,0)	cmol _c .dm ³	10,4

Tabela 2. Atributos químicos e físicos do Argissolo utilizado no experimento (0–0,20 m)

Atributos Químicos	Unidades	Valores
V (Sat. de Bases)	%	11
M (Sat. de Al)	%	17
Materia Orgânica Total	g.dm ⁻³	8
Relação das bases Ca/Mg	-	2,7
Relação das bases Ca/K	-	20,0
Relação das bases Mg/K	-	7,5
Saturação por Elemento Ca	%	8
Saturação por Elemento Mg	%	3
Saturação por Elemento K	%	0
Zn	mg.dm ³	0,2
Cu	mg.dm ³	0,7
Fe	mg.dm ³	363
Mn	mg.dm ³	23,1
Boro	mg.dm ³	0,19
S (enxofre)	mg.dm ³	3,6
Atributos Físicos	Unidades	Valores
Argila	g.Kg ⁻¹	285
Silte	g.Kg ⁻¹	75
Areia Total	g.Kg ⁻¹	640
Classe Textural	Franco-argilo-arenosa	

Continuação.

3.3 Unidades experimentais e dimensionamento dos vasos

As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos de polietileno com capacidade de 5 dm³ (20 cm de altura; 22 cm de diâmetro superior; 17 cm de diâmetro inferior), preenchidos com 5,0 kg de solo seco. Reconhece-se que esse volume pode impor limitação ao desenvolvimento radicular, sobretudo em avaliações com cortes sucessivos, condição inerente a ensaios em recipientes; ainda assim, o tamanho foi adotado por viabilizar o controle ambiental e nutricional do sistema e permitir comparar, de forma padronizada, a resposta do capim-Mombaça ao gradiente de doses de fósforo, conforme procedimentos metodológicos empregados em experimentos em vasos (Almeida *et al.*, 2015).

3.4 Determinação da capacidade de campo e manejo da irrigação

A capacidade de campo (CC) foi estimada por procedimento gravimétrico em condição de drenagem livre, em ensaio conduzido em tubos de PVC (Figura 2). O solo foi saturado por 24 h e, em seguida, mantido em drenagem livre por 48 h; posteriormente, determinou-se o teor de água retido pela diferença de massa, com secagem em estufa a 105 °C até massa constante.

Figura 2. Determinação da capacidade de campo por saturação e drenagem livre em solo utilizado no experimento



A partir dessa unidade de referência, a condução do experimento ocorreu com manutenção da umidade do solo em 60% da CC. Para isso, seis unidades amostrais foram pesadas diariamente, calculando-se a média para orientar a reposição de água do dia, realizada de forma diária. Além disso, a cada dez dias todos os vasos foram pesados individualmente e a irrigação foi ajustada vaso a vaso, de modo a restabelecer o mesmo peso de referência e manter as unidades experimentais sob condição hídrica padronizada ao longo do ciclo.

3.5 Correção da acidez do solo e incubação

A correção da acidez foi realizada para elevar a saturação por bases (V%) para 60%. A necessidade de calagem foi estimada pelo método de elevação da saturação por bases, com base nos atributos iniciais do solo (CTC a pH 7,0 = 10,4 cmolc dm⁻³; V = 11%), resultando em dose de 5,66 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 90%), arredondada para 6 Mg ha⁻¹, conforme recomendações para solos da região e

exigência de forrageiras tropicais (Wadt, 2002; Lima; Maria, 2020).O corretivo foi incorporado e homogeneizado ao solo, permanecendo em incubação por 30 dias, com umidade mantida em 60% da CC para assegurar reação adequada.

3.6 Delineamento experimental e adubação fosfatada

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com seis doses de adubação fosfatada (P_2O_5): 0, 100, 200, 400, 600 e 800 kg ha⁻¹, e quatro repetições. O fósforo foi aplicado na forma de superfosfato simples, incorporado ao solo antes da semeadura. A escolha da fonte considerou sua ampla utilização na implantação de pastagens e o fornecimento conjunto de P, Ca e S, o que favorece o estabelecimento de gramíneas exigentes (Souza *et al.*, 2019).

As doses foram definidas em função do teor extremamente baixo de P do solo (Tabela 1), do potencial de fixação do nutriente em solos tropicais intemperizados e da faixa recomendada para implantação de pastagens (150–180 kg ha⁻¹ de P_2O_5), incluindo níveis inferiores e superiores para identificação de resposta e faixa de maior eficiência agrônômica (Lima; Maria, 2020).

Ressalta-se que, no momento do plantio, não foi realizada adubação de N e K, com a finalidade de isolar o efeito da adubação fosfatada e aproximar o experimento de uma condição frequentemente observada em sistemas extensivos na Amazônia, nos quais a implantação da pastagem ocorre com baixo aporte de insumos.

3.7 Implantação, manejo de plantas, cortes e adubação nitrogenada

A semeadura do capim-Mombaça foi realizada utilizando-se 2,0 g de sementes por vaso, distribuídas uniformemente a aproximadamente 1 cm de profundidade. Essa quantidade foi superior à densidade final desejada, com o objetivo de evitar a necessidade de replantio e garantir a formação de estande, considerando que as sementes apresentavam poder germinativo de 60%. Após a emergência (Figura 3), foram realizados desbastes sucessivos até a padronização de cinco plantas por unidade experimental, visando uniformidade do estande e redução da variação associada ao vigor inicial das plântulas.

Figura 3. Semeadura em vaso de *Panicum maximum* cv. Mombaça



Os cortes foram efetuados aos 45, 90 e 135 dias após o plantio (DAP), mantendo-se altura residual de 10 cm em relação ao solo. Esse resíduo foi adotado para preservar gemas basais e meristemas, favorecendo a rebrota entre avaliações e padronizando a colheita de biomassa em condições de vaso (Rodrigues *et al.*, 2019; Alharbi *et al.*, 2025).

Após o primeiro corte (45 DAP), foi realizada adubação de cobertura com ureia (45% N) na dose de 0,75 g por vaso, equivalente a 50 kg ha⁻¹ de N. A aplicação foi seguida de irrigação para reduzir perdas por volatilização e favorecer rápida disponibilidade do nutriente na solução do solo (Figura 4).

Figura 4. Síntese ilustrativa do arranjo e metodologia de desenvolvimento experimental



3.8 Parâmetros vegetativos

Em cada época de corte foram avaliadas: (i) altura de plantas (cm), medida com régua graduada; (ii) número de perfilhos, por contagem manual; (iii) biomassa fresca, obtida por pesagem imediata do material colhido; e (iv) biomassa seca foliar, determinada após secagem em estufa de circulação forçada a 65 °C até peso constante (Figura 5).

Figura 5. Secagem de *Panicum maximum* cv. Mombaça em estufa de circulação de ar forçada



3.9 Análise estatística

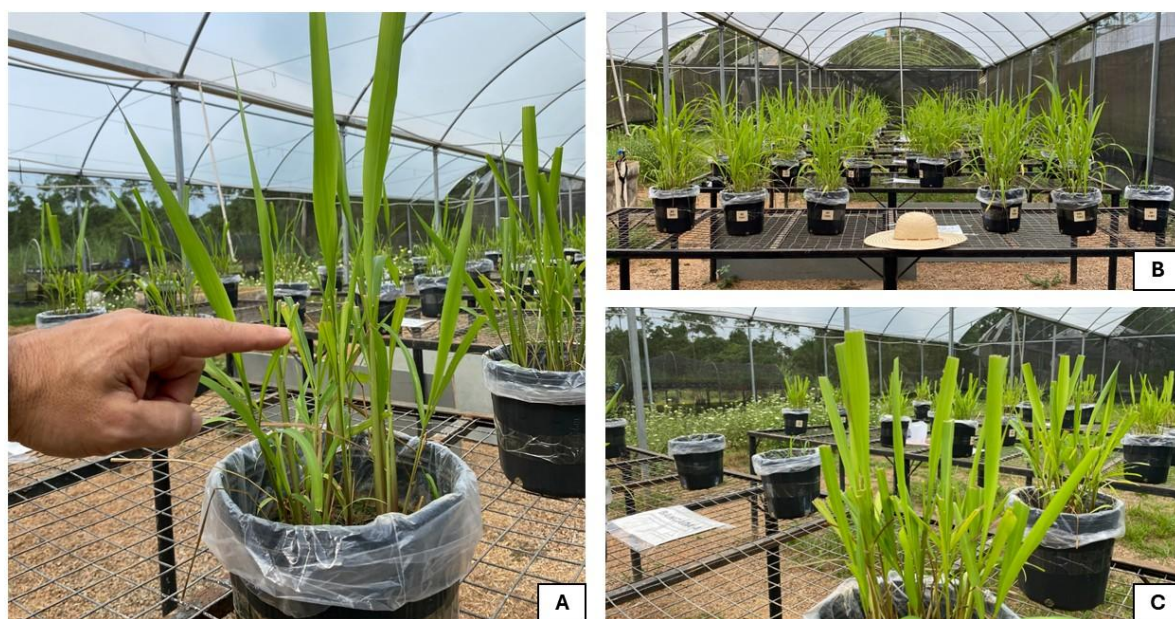
Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em parcelas subdivididas no tempo, considerando as doses de P_2O_5 como fator principal (parcelas) e as épocas de corte como fator secundário (subparcelas). A verificação de valores discrepantes foi realizada pelo teste de Grubbs. A significância dos efeitos foi testada pelo teste F a 1% de probabilidade e, quando aplicável, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,01$).

Para o fator quantitativo (doses), foi ajustada regressão polinomial (modelos linear, quadrático ou cúbico), selecionando-se o modelo com base na significância dos coeficientes e no coeficiente de determinação (R^2). As análises foram realizadas no software AgroEstat

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta e discute os efeitos das épocas de corte e das doses de fósforo (P_2O_5) sobre o desempenho agrônômico do capim-Mombaça, com ênfase em variáveis estruturais e produtivas do dossel (altura, número de perfilhos, biomassa fresca e biomassa seca foliar). Primeiramente, são descritos os resultados referentes às épocas de corte, como componente temporal associado ao ciclo de crescimento e à dinâmica de rebrota. Em seguida, são discutidos o desdobramento das doses de P em cada época e os ajustes por regressão, destacando padrões de resposta, faixas de suficiência e implicações para o manejo da adubação fosfatada em Argissolo com baixa disponibilidade de P. O aspecto visual das plantas e do manejo de corte, incluindo rebrota e perfilhamento, é ilustrado na Figura 6.

Figura 6. Capim-Mombaça (*Panicum maximum*) em casa de vegetação, sob manejo de corte: (A) detalhe do perfilhamento/rebrota em vaso; (B) visão geral das unidades experimentais; (C) aspecto das plantas após o corte e em rebrota



Esse padrão de resposta entre as épocas de corte demonstra que, nas condições do experimento, o corte aos 90 dias após o plantio coincide com a fase de maior vigor vegetativo do capim-Mombaça, expressa pelos maiores valores médios de massa fresca, massa seca foliar, número de perfilhos e altura em comparação aos cortes aos 45 e 135 dias. Esse comportamento é característico de gramíneas tropicais

quando ocorre a consolidação do dossel, com aumento da área foliar e intensificação do fluxo de tecidos (folhas e perfilhos), resultando em maior acúmulo de biomassa e maior estatura do pasto (Silva *et al.*, 2009).

Tabela 3. Massa fresca e massa seca foliar, altura e número de perfilhos como efeito secundário de experimento para avaliação de doses e épocas de corte de capim-Mombaça (*Panicum maximum*)

Dias Após o Plantio	Massa fresca (g)	Massa seca foliar (g)	Perfilhos (n)	Altura (cm)
45	14,25 b	5,05 b	3,37 b	38,04 c
90	35,13 a	11,72 a	4,25 a	68,17 a
135	15,09 b	5,00 b	3,52 b	59,11 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade.

Os menores valores de altura, massa fresca, massa seca foliar e perfilhamento foram observados no corte realizado aos 45 dias após o plantio, caracterizando a fase de estabelecimento inicial, na qual o dossel ainda apresenta menor área foliar efetiva, menor interceptação de luz e menor taxa de renovação de tecidos, limitando o acúmulo de biomassa aérea; nesse período, a emissão de folhas e o alongamento foliar ainda se encontram em consolidação, o que se reflete diretamente na altura e no número de perfilhos (Garcez Neto *et al.*, 2002).

Na coleta realizada aos 90 DAP, as médias foram superiores para as variáveis massa fresca (35,13 g), massa seca foliar (11,72 g), perfilhos (4,25) e altura (68,17 cm). Esses resultados indicam pico de crescimento, com maior densidade de perfilhos e maior produção de folhas, o que favorece o acúmulo de massa fresca e seca. Em *Panicum maximum*, esse período costuma coincidir com maior atividade morfogênica e com uma estrutura de dossel mais eficiente para produção, desde que as condições de manejo e ambiente sustentem a rebrota (Silva *et al.*, 2009; Garcez Neto *et al.*, 2002).

No corte realizado aos 135 dias após o plantio, observou-se redução da massa fresca e da massa seca foliar, com valores estatisticamente semelhantes aos registrados aos 45 dias. Em contraste, a altura manteve-se em patamar intermediário, inferior ao observado aos 90 dias e superior ao de 45 dias. Esse resultado sugere alteração na estrutura do dossel, com manutenção relativa da estatura, porém com

menor contribuição de lâminas foliares para o acúmulo de biomassa. Em gramíneas C4, a progressão do ciclo e a sucessão de cortes podem modificar a partição de assimilados e a velocidade de recuperação, reduzindo a produção de folhas em relação ao período de máximo vigor (Santos; Thornton; Corsi, 2012).

No desdobramento das doses de P dentro de cada época de corte (Tabela 4), aos 45 dias após o plantio a testemunha apresentou altura muito inferior (10,18 cm), enquanto todos os tratamentos com P apresentaram valores superiores e não diferiram estatisticamente entre si (42,27–44,85 cm). Aos 90 dias, a testemunha permaneceu com a menor altura (59,95 cm), e as maiores médias ocorreram com 200 e 400 kg ha⁻¹ (72,50 e 72,85 cm), enquanto 100 kg ha⁻¹ apresentou valor intermediário (67,14 cm). Aos 135 dias, não houve diferença estatística entre as doses (55,90–62,70 cm).

Tabela 4. Altura de plantas em função do desdobramento de efeito de doses de fósforo dentro das e épocas de corte de Capim-mombaça (*Panicum maximum*)

Dose de P	Épocas de corte (DAP)			Altura (cm)
	45	90	135	
0	10,18 b	59,95 c	55,90 a	
100	43,22 a	67,14 ab	59,65 a	
200	44,05 a	72,50 a	62,70 a	
400	42,27 a	72,85 a	59,75 a	
600	44,85 a	69,85 a	57,75 a	
800	43,62 a	69,75 a	58,90 a	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade.

Os resultados obtidos aos 45 DAP evidenciam que o fósforo foi limitante no estabelecimento, pois a ausência de P reduziu intensamente o crescimento em altura. Em capim-Mombaça, estudos de implantação relatam que a adubação fosfatada melhora características estruturais e morfogênicas do dossel, com forte contraste entre a testemunha e doses moderadas, reforçando o papel do P como “nutriente de arranque” em sistemas tropicais (Pacheco *et al.*, 2021).

A ausência de diferenças entre 100 e 800 kg ha⁻¹ aos 45 DAP demonstra suficiência a partir da menor dose adubada, uma vez superada a deficiência inicial,

incrementos adicionais de P não se traduzem em maior altura nessa fase. Esse padrão é compatível com resultados experimentais recentes com Mombaça, nos quais a adubação fosfatada promove ganho de crescimento e acúmulo de forragem, porém a resposta tende a concentrar-se nas faixas mais baixas a intermediárias de dose (Araújo *et al.*, 2024).

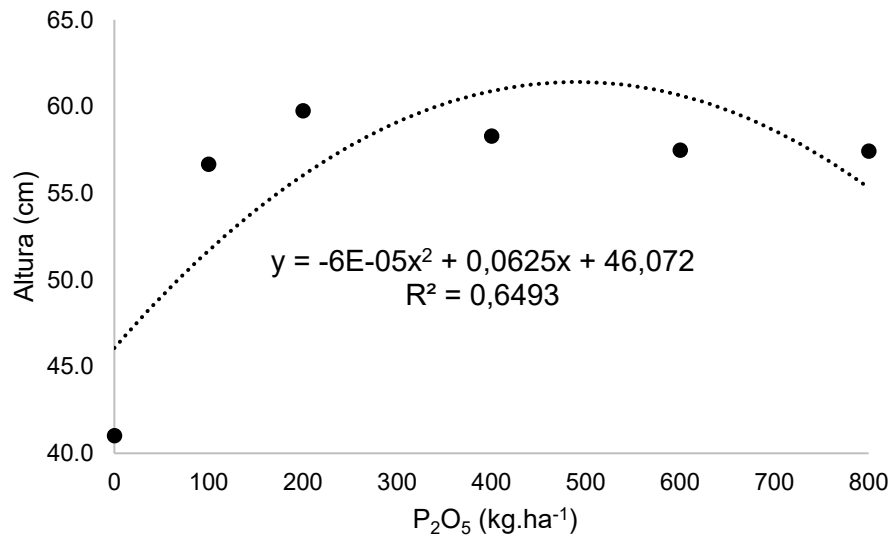
Os ganhos em altura com 200-400 kg ha⁻¹ e a ausência de superioridade aos 90 DAP consistentes nas doses mais altas indicam retornos decrescentes (tendência de estabilização). Nessa fase, o dossel já está mais estruturado e mudanças no padrão de crescimento podem ocorrer com o aumento do índice de área foliar e da competição por luz, reduzindo a conversão de incrementos nutricionais em aumento de estatura na mesma proporção (Silva *et al.*, 2020).

A inexistência de diferenças aos 135 DAP demonstra que, nesse momento, a altura foi mais controlada pela dinâmica de rebrota e reorganização fonte–dreno do que pela dose de P. Em gramíneas C4, após desfolhação e ao longo de ciclos de rebrota, padrões de absorção, mobilização e alocação de nutrientes podem mudar, modulando a velocidade de recuperação e a expressão de características estruturais do dossel (Santos; Thornton; Corsi, 2012).

Adicionalmente, em solos tropicais intemperizados, a resposta de crescimento do capim-Mombaça à adubação fosfatada pode apresentar comportamento de estabilização, pois a elevada sorção de P por óxidos de ferro e alumínio reduz a fração lábil do nutriente na solução do solo ao longo do tempo. Nesse contexto, parte do P aplicado é rapidamente adsorvida e passa a compor formas menos disponíveis, diminuindo o incremento marginal de altura e biomassa mesmo com o aumento das doses. Evidências recentes indicam que frações extraíveis associadas ao alumínio se relacionam fortemente com a capacidade de sorção de P, sustentando a interpretação de que a limitação ocorre principalmente pela menor disponibilidade efetiva do nutriente para absorção radicular (Amenkhienan *et al.*, 2024).

Obsevou-se resposta quadrática da altura média do capim-Mombaça ao incremento das doses de P₂O₅, com ajuste moderado (R² = 0,6493). A equação estimou altura máxima próxima de 62,35 cm na dose aproximada de 521 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 7).

Figura 7. Altura de plantas em função do desdobramento do efeito de doses de fósforo dentro das épocas de corte do Capim-Mombaça (*Panicum maximum*)



Esse padrão é coerente com estudos em casa de vegetação com cultivares de *Panicum maximum* (incluindo Mombaça), nos quais a altura e a produção aumentaram com a elevação do P até uma faixa intermediária, e depois tenderam à estabilização (Torres *et al.*, 2016). Assim, a interpretação agronômica deve priorizar a faixa de suficiência, isto é, o intervalo em que o incremento de P ainda gera ganhos consistentes e a eficiência do insumo é maior, em vez de adotar diretamente a dose que apenas maximiza matematicamente a curva (Chaganti; Culman, 2017).

Em condições de campo, resultados de Pacheco *et al.* (2021) mostram que a adubação fosfatada na implantação do capim-Mombaça eleva a disponibilidade de P no solo e modifica características estruturais do dossel, como alongamento foliar/colmo e densidade de perfilhos, sobretudo no período de maior requerimento da planta, reforçando o fósforo como nutriente-chave no estabelecimento. Esse comportamento ajuda a explicar por que a resposta tende a ser mais evidente no início do ciclo e se torna menos sensível quando o dossel já se encontra estruturado.

Além do efeito direto do P na planta, a química do solo pode contribuir para a forma da curva. Em solos tropicais intemperizados, frações de Al/Fe se associam fortemente à capacidade de sorção de P, reduzindo a fração lábil e favorecendo a estabilização, mesmo quando se aumentam as doses aplicadas (Amenkhienan *et al.*, 2024). Assim, parte do P adicional pode ser retida pelo solo em formas menos

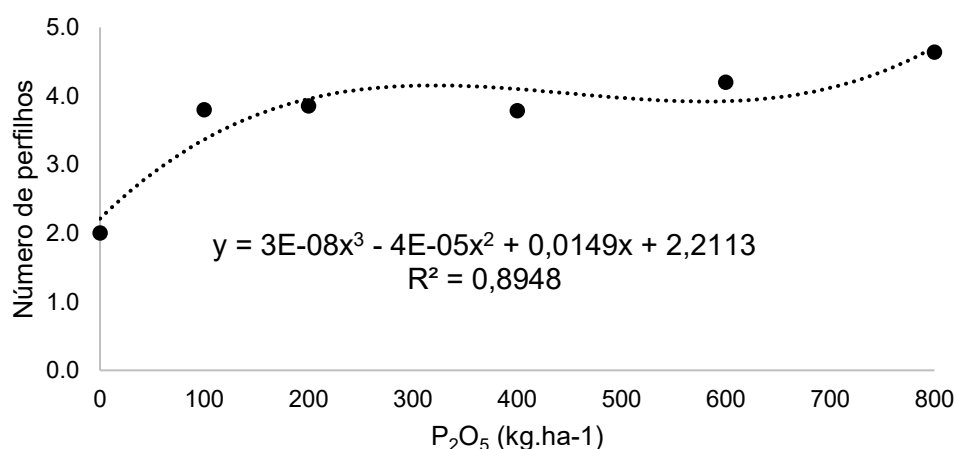
disponíveis, diminuindo a eficiência do fertilizante em doses elevadas.

Além do efeito direto do P na planta, a própria química do Argissolo Amarelo distrófico utilizado ajuda a explicar a tendência de estabilização da resposta em doses mais altas. Conforme a análise inicial (Tabela 1), o solo apresenta pH 5,1, Al^{3+} trocável elevado ($3,8 \text{ cmolc dm}^{-3}$), alta acidez potencial ($\text{H+Al} = 9,3 \text{ cmolc dm}^{-3}$) e teor expressivo de Fe (363 mg dm^{-3}) (além de $\text{Mn} = 23,1 \text{ mg dm}^{-3}$), condições típicas de ambientes com forte presença/atividade de fases reativas de Fe e Al, que aumentam a sorção/retensão de fosfato,, reduzindo a fração lábil na solução do solo e, conseqüentemente, a eficiência marginal do fertilizante em doses mais altas (Lemos *et al.*, 2022).

Em escala de mecanismo, estudos com minerais típicos desses ambientes (ex.: goethita) mostram elevada afinidade por fosfato, com formação de complexos na superfície mineral, o que ajuda a explicar por que parte do P aplicado tende a ficar rapidamente menos disponível para a planta (Arroyave *et al.*, 2022). Além disso, interações organominerais (ex.: com ácidos húmicos/fúlvicos) podem modular a liberação/retensão de P, reforçando que a forma da curva de resposta resulta não só da demanda da planta, mas também da química e da dinâmica do solo (Bai *et al.*, 2024)

Observou-se ajuste cúbico para o número médio de perfilhos em função das doses de P_2O_5 , com elevada qualidade de ajuste ($R^2 = 0,8948$). Em termos de tendência, ocorreu aumento acentuado do perfilhamento da dose 0 para 100 kg ha^{-1} , seguido de estabilização nas doses intermediárias ($200\text{--}600 \text{ kg ha}^{-1}$) e novo incremento na dose máxima (Figura 8).

Figura 8. Número de perfilhos de plantas em função do desdobramento do efeito de doses de fósforo dentro das épocas de corte do Capim-Mombaça (*Panicum maximum*)



O aumento do número de perfilhos nas doses iniciais é compatível com o papel do fósforo no estabelecimento e na emissão de novos perfilhos, uma vez que o nutriente integra moléculas-chave de transferência de energia (ATP) e sustenta processos metabólicos e estruturais associados à expansão de tecidos e à organização morfogênica do dossel, o que se reflete diretamente em maior capacidade de perfilhamento (Melo *et al.*, 2023). Em capim-Mombaça, experimentos recentes em condições de plantio demonstram que a adubação fosfatada eleva o desempenho produtivo e morfológico, incluindo variáveis relacionadas à estrutura do dossel (Araújo *et al.*, 2024).

A tendência de platô nas doses intermediárias demonstra que, após atingir uma faixa de suficiência, o perfilhamento passa a responder menos ao incremento de P, caracterizando retornos decrescentes. Em estudos realizados por Carneiro *et al.* (2017) e Leite *et al.* (2019), na formação de pastagens de capim-Mombaça com diferentes doses e fontes de fósforo, verificou-se que o aumento de P₂O₅ promoveu incremento na altura das plantas e no número de perfilhos, porém os melhores resultados agrônômicos tenderam a ocorrer em faixas intermediárias de adubação (aproximadamente 200 a 280 kg ha⁻¹ de P₂O₅), a depender da fonte utilizada.

Na biomassa fresca, aos 45 DAP, a ausência de P resultou no menor valor (0,79 g), enquanto todas as doses com fósforo, de 100 a 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅, foram superiores e não diferiram entre si (16,31–18,23 g). Aos 90 DAP, houve maior discriminação entre as doses: a testemunha permaneceu inferior (13,25 g) e a maior

dose apresentou a maior biomassa (42,77 g), diferindo da dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (37,06 g), enquanto as doses de 200 a 600 kg ha⁻¹ de P₂O₅ permaneceram em nível intermediário (37,85–41,02 g). Aos 135 DAP, a testemunha voltou a apresentar menor biomassa (9,85 g), enquanto as doses com fósforo mantiveram valores mais elevados e semelhantes (15,40–16,84 g), indicando estabilização da resposta nas doses de 100 a 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅ nessa fase (Tabela 4).

Tabela 5. Biomassa fresca em função do desdobramento do efeito de doses de fósforo dentro das épocas de corte de Capim-Mombaça (*Panicum maximum*)

Dose de P	Épocas de corte (DAP)			Biomassa fresca (g)
	45	90	135	
0	0,79 b	13,25 c	9,85 b	
100	16,31 a	37,06 b	15,40 a	
200	17,31 a	37,85 ab	15,74 a	
400	16,43 a	38,85 ab	16,37 a	
600	16,39 a	41,02 ab	16,34 a	
800	18,23 a	42,77 a	16,84 a	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade.

O contraste muito acentuado entre a testemunha e as doses adubadas aos 45 DAP confirma que o fósforo foi fator limitante no estabelecimento das plantas, promovendo rápido incremento da biomassa fresca quando aplicado em níveis moderados. Em condições de casa de vegetação com cultivares de *Panicum maximum* (incluindo Mombaça), a adição de fósforo aumenta o crescimento e a produção de forragem até uma faixa intermediária de adubação, com tendência de estabilização após o suprimento adequado do nutriente, padrão coerente com o observado neste estudo (Torres *et al.*, 2016).

A resposta mais acentuada aos 90 DAP, com a dose de 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅ superior à de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sugere que, no período de maior vigor vegetativo, a planta pode demandar maior suprimento efetivo de fósforo para sustentar o acúmulo de biomassa, principalmente em solos com elevada capacidade de sorção. Em condições de campo, avaliações com capim-Mombaça adubado com fósforo no plantio demonstram variação temporal no acúmulo de forragem ao longo dos meses ou cortes, reforçando que a resposta às doses de fósforo, de 100 a 800 kg ha⁻¹ de

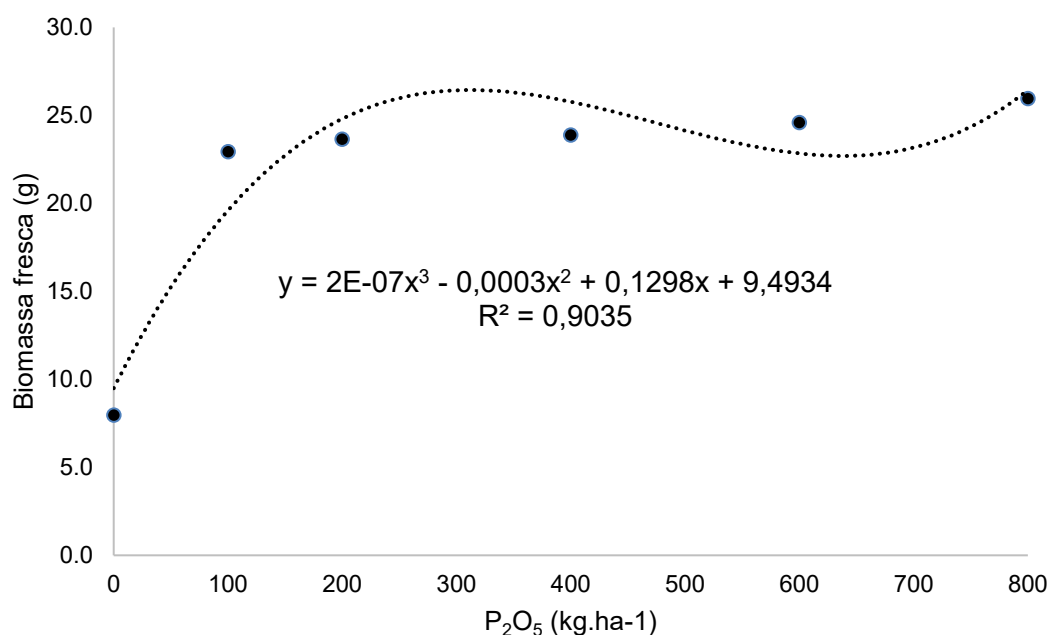
P_2O_5 , não é constante ao longo do tempo e depende do estágio fenológico e do ciclo de crescimento das plantas (Araújo *et al.*, 2024).

O comportamento de platô aos 135 DAP, evidenciado pelo fato de que os valores de biomassa fresca nas doses de 100 a 800 kg ha⁻¹ de P_2O_5 não diferiram estatisticamente entre si ($p > 0,05$), indica que, após o fechamento do dossel e a sucessão de rebrota, o efeito incremental da adubação fosfatada tende a diminuir. Isso é compatível com estudos que avaliam *Panicum maximum* em cortes sucessivos e destacam que parte do efeito do P pode se expressar mais intensamente nos primeiros cortes, enquanto efeitos residuais e limitações do sistema (estrutura do pasto e ambiente) passam a dominar a resposta produtiva (Bulegon *et al.*, 2016).

Ressalta-se que doses muito elevadas podem até aumentar biomassa em um corte específico (como aos 90 DAP), mas também elevam o risco de baixa eficiência agrônômica e desbalanços nutricionais em gramíneas do gênero *Panicum* sob manejo intensivo. Evidência experimental recente com *Panicum maximus* em Oxissois/Neossolos discute que tanto deficiência quanto excesso de P podem comprometer homeostase C:N:P e produção de matéria seca, reforçando a necessidade de buscar faixas de suficiência (Melo *et al.*, 2023).

Observou-se resposta cúbica da biomassa fresca do capim-Mombaça às doses de P_2O_5 , com elevado ajuste do modelo ($R^2 = 0,9035$). A curva indicou incremento acentuado nas doses iniciais, com máximo local estimado em aproximadamente 316,5 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , correspondente a 26,86 g, seguido de redução até um mínimo local próximo de 683,5 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , com 21,92 g, e posterior elevação na maior dose avaliada (Figura 9).

Figura 9. Biomassa fresca vegetal em função do desdobramento do efeito de doses de fósforo dentro das épocas de corte do Capim-Mombaça (*Panicum maximum*)



O aumento rápido da biomassa fresca nas menores doses confirma o fósforo como nutriente-chave no estabelecimento e na sustentação do crescimento vegetativo de gramíneas tropicais, refletindo maior acúmulo de massa verde quando a limitação inicial é superada. Em estudos de adubação de formação com capim-Mombaça, a aplicação de P_2O_5 promoveu ganhos de produção e de atributos estruturais do dossel, com tendência de maior resposta em faixas intermediárias de dose, dependendo da fonte utilizada (Carneiro *et al.*, 2017).

O comportamento observado neste estudo, caracterizado por pico de resposta em dose intermediária e retorno decrescente em doses elevadas, é coerente com resultados relatados na literatura, os quais demonstram variação da resposta ao fósforo ao longo do ciclo e entre cortes, inclusive em razão do efeito residual do fertilizante e da maior interceptação luminosa. Em forrageiras tropicais, estudos prévios indicam que a produtividade pode responder ao fósforo de maneira distinta entre cortes, e a eficiência do nutriente tende a diminuir à medida que o sistema se aproxima de um patamar de suficiência, reduzindo o ganho marginal por unidade aplicada (Bulegon *et al.*, 2016).

pode estar associada a desequilíbrios nutricionais induzidos pelo excesso de fósforo, especialmente em razão do antagonismo com micronutrientes como o zinco,

além de alterações fisiológicas que reduzem a eficiência fotossintética e a conversão do nutriente em biomassa (Santos *et al.*, 2021; Yu *et al.*, 2020). Evidências recentes com *Panicum maximum* indicam que tanto a deficiência quanto o excesso de P afetam a homeostase C:N:P e podem reduzir o desempenho, reforçando que “mais P” nem sempre se traduz em maior produção (Melo *et al.*, 2023).

Na biomassa seca foliar, aos 45 DAP a testemunha apresentou o menor valor (0,17 g), enquanto todas as doses com P (100–800 kg ha⁻¹ P₂O) foram superiores e não diferiram entre si (5,61–6,34 g). Aos 90 DAP, a testemunha permaneceu inferior (4,14 g) e as maiores médias ocorreram com 600 e 800 kg ha⁻¹ P₂O (14,13 e 14,55 g), diferindo de 100 kg ha⁻¹ P₂O (11,53 g), enquanto 200 e 400 ficaram em nível intermediário (12,90–13,08 g). Aos 135 DAP, a testemunha voltou a ser inferior (3,18 g) e as doses com P apresentaram valores semelhantes entre si (5,06–5,70 g), evidenciando redução da sensibilidade à dose nessa época (Tabela 5).

Tabela 6. Massa seca em função do desdobramento do efeito de doses de fósforo dentro das épocas de corte de Capim-Mombaça (*Panicum maximum*)

Dose de P	Épocas de corte (DAP)			Biomassa seca foliar (g)
	45	90	135	
0	0,17 b	4,14 c	3,18 b	
100	5,61 a	11,53 b	5,06 a	
200	6,26 a	13,08 ab	5,25 a	
400	5,76 a	12,90 ab	5,20 a	
600	6,16 a	14,13 a	5,59 a	
800	6,34 a	14,55 a	5,70 a	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade.

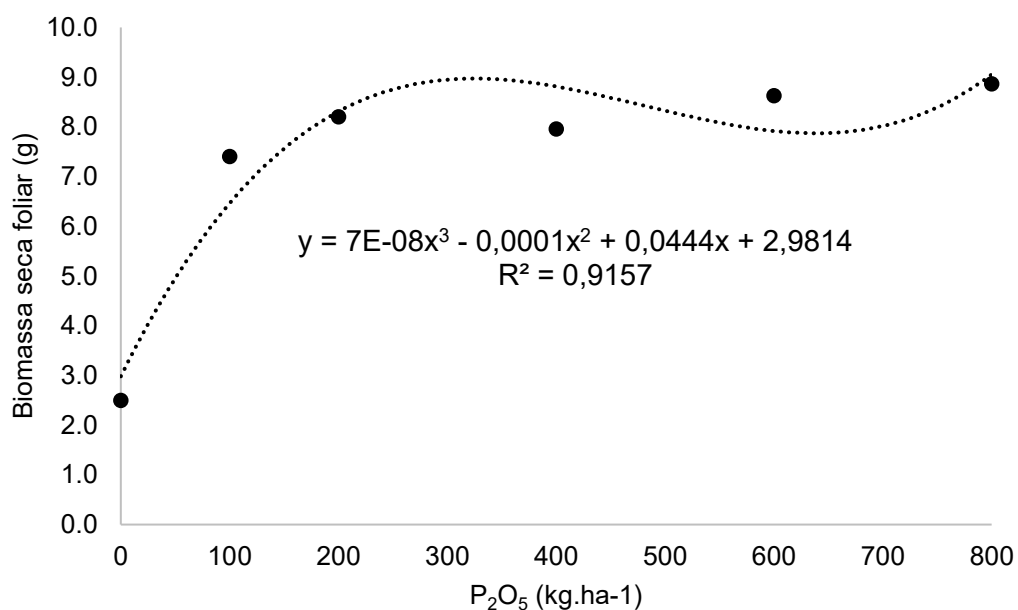
A ausência de diferenças entre doses com P (100–800 kg ha⁻¹ P₂O) indica comportamento de estabilização, sugerindo que, após sucessivos ciclos e com o dossel mais estruturado, a massa seca foliar passa a ser mais controlada pela dinâmica de rebrota e pela eficiência de uso do nutriente do que pelo aumento contínuo da dose. Em experimentos de campo com Mombaça adubado com diferentes

doses de fósforo no plantio, a produção de massa seca responde ao P, mas a magnitude do ganho tende a se concentrar nas doses recomendadas/percentuais de recomendação, com retorno decrescente em incrementos adicionais (Araújo *et al.*, 2024).

Em termos dos mecanismos fisiológicos e edáficos, respostas com retorno decrescente podem refletir limitações do solo e da planta: em sistemas com elevada sorção de fósforo, ou quando o fornecimento do nutriente ultrapassa a faixa de exigência da cultura, parte do P absorvido deixa de ser convertida eficientemente em biomassa (Santos *et al.*, 2021). Nessas condições, podem ocorrer desequilíbrios nutricionais e alterações na homeostase C:N:P, com prejuízos ao crescimento vegetal e à eficiência de uso do nutriente (Melo *et al.*, 2023).

Observou-se resposta cúbica da biomassa vegetal seca foliar do capim-Mombaça às doses (crescentes ou decrescentes) de P_2O_5 , com alto ajuste ($R^2 = 0,9157$). O modelo estimado mostra o máximo local em aproximadamente 324,9 kg ha^{-1} de P_2O_5 (8,97 g) e, em seguida, redução até um mínimo local próximo de 638,1 kg ha^{-1} P_2O_5 (7,87 g), com nova elevação discreta nas doses mais altas, caracterizando comportamento não linear (Gráfico 5).

Figura 10. Biomassa vegetal seca foliar em função do desdobramento do efeito de doses de fósforo dentro das épocas de corte de Capim-Mombaça (*Panicum maximum*)



O aumento da biomassa seca foliar nas doses iniciais e intermediárias é consistente com o papel do fósforo no crescimento morfogênico do capim, uma vez que esse nutriente favorece o perfilhamento, o desenvolvimento foliar e o acúmulo de matéria seca. Em *Megathyrsus maximus*, a deficiência de P reduz o número de perfilhos e a produtividade de matéria seca, evidenciando a importância do nutriente para a estrutura do dossel e o crescimento da forrageira (Costa *et al.*, 2022; Melo *et al.*, 2023). De forma complementar, em cultivares de *Panicum maximum*, a adubação fosfatada influenciou características morfométricas, como número de perfilhos e dimensões foliares, além da massa seca da parte aérea, com melhor desenvolvimento em doses intermediárias de P (Torres *et al.*, 2016).

A discussão pode ser contextualizada para a Amazônia, uma vez que há evidências recentes de resposta positiva de gramíneas do gênero *Panicum* à adubação fosfatada em ambientes amazônicos. Em Roraima, Costa *et al.* (2025), avaliando *Megathyrsus maximus* cv. BRS Quênia em condições naturais de campo, verificaram que a adubação fosfatada aumentou a disponibilidade de matéria seca verde, a densidade populacional de perfilhos, o número de folhas por perfilho, o tamanho médio das folhas e o índice de área foliar, com resposta quadrática e máximos em doses intermediárias de P_2O_5 .

No Amazonas, Oliveira (2022), ao estudar variedades de *Panicum maximum* sob diferentes doses de adubação fosfatada em solo amazônico, também destacou a relevância do fósforo para o crescimento e o perfilhamento das forrageiras. Assim, os resultados obtidos neste estudo são coerentes com evidências recentes geradas em condições da Amazônia, reforçando que a resposta ao fósforo tende a ocorrer de forma mais expressiva até faixas intermediárias de adubação, e não de maneira linear indefinida.

A presença de resposta cúbica, com incremento inicial da biomassa e posterior decréscimo em doses mais elevadas de P_2O_5 , sugere que a adubação fosfatada promoveu benefícios ao crescimento do capim-Mombaça apenas até determinada faixa de suprimento, a partir da qual a eficiência de conversão do nutriente em biomassa passou a diminuir. Esse comportamento pode ser interpretado como resultado de retornos decrescentes após a superação da limitação primária por fósforo, uma vez que, ao atingir níveis próximos da suficiência, novos acréscimos na

dose aplicada deixam de produzir ganhos proporcionais em crescimento. Em *Panicum maximum*, Melo *et al.* (2023) demonstraram que tanto a deficiência quanto o excesso de fósforo afetam parâmetros morfogênicos e químicos da forrageira, evidenciando que gradientes amplos de disponibilidade desse nutriente alteram a dinâmica de crescimento e o desempenho da planta.

Outro aspecto importante é que doses elevadas de fósforo podem favorecer desequilíbrios com outros nutrientes, especialmente micronutrientes, com reflexos negativos sobre processos fisiológicos ligados ao crescimento. Em estudo com algodoeiro, Santos *et al.* (2021) verificaram que o excesso de P reduziu a concentração de Zn na parte aérea e esteve associado à redução de parâmetros fotossintéticos e de crescimento, mostrando que desbalanços nutricionais decorrentes do suprimento excessivo de fósforo podem limitar a produção de biomassa. Embora esse estudo tenha sido realizado com outra espécie, ele reforça a interpretação de que a queda observada em doses elevadas de P_2O_5 pode estar relacionada não apenas à saturação da resposta produtiva, mas também à perda de eficiência fisiológica do sistema em condições de excesso nutricional.

De modo geral, os resultados demonstram que a adubação fosfatada foi determinante para o melhor estabelecimento, crescimento e a produção de biomassa do capim-Mombaça nas fases iniciais de desenvolvimento. As respostas observadas indicam ganhos mais expressivos até faixas intermediárias de aplicação, com redução da eficiência em doses mais elevadas. Assim, o manejo do fósforo deve buscar níveis que atendam à exigência da forrageira sem exceder a faixa de maior eficiência agronômica.

5 CONCLUSÕES

A adubação fosfatada influenciou o desenvolvimento do capim-Mombaça, com efeitos significativos sobre a altura de plantas, o número de perfilhos e o acúmulo de biomassa fresca e seca, enquanto a ausência de fósforo limitou o crescimento e a produção da forrageira ao longo do ciclo.

As doses entre 100 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ promoveram maior altura, perfilhamento e produção de biomassa na fase inicial de desenvolvimento da planta. Doses superiores a 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ não resultaram em incrementos proporcionais na maioria das variáveis avaliadas.

Assim, para as condições em que o experimento foi conduzido, a adubação fosfatada na faixa de 100 a 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentou melhores resultados agrônômicos no crescimento e na produção de biomassa.

REFERÊNCIAS

ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Beef Report: perfil da pecuária no Brasil 2024**. São Paulo: ABIEC, 2025. Disponível em: (site ABIEC). Acesso em: 1 mar. 2026.

ACRE. Governo do Estado do Acre. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre – Fase III**. Rio Branco, 2021.

ALHARBI, A. *et al.* Efficient Strategy for Water and Nutrient Management to Economically Enhance Mombasa Grass Productivity. **Agronomy**, v. 15, n. 1274, 2025.

ALMEIDA, J. C. C. *et al.* Composição mineral de leguminosas forrageiras cultivadas sob diferentes níveis de sombreamento. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 367-376, 2015.

ALSUNAYDI, S.; ALHARBI, A. B.; AL-SOQEER, A. A.; MOTAWEL, M. I. Nutritional composition and productivity of *Panicum maximum* cv. “Mombasa” under different levels of nitrogen fertilization and water deficit. **Life**, v. 14, n. 12, art. 1614, 2024.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

AMENKHIENAN, B. E.; DIJKSTRA, F.; WARREN, C.; SINGH, B. Understanding extractable metal species relationships with phosphorus sorption and organic carbon in soils. **Soil Research**, v. 62, n. 8, SR24118, 2024.

ARAÚJO, E. A. *et al.* Aspectos gerais dos solos do Acre com ênfase ao manejo sustentável. **Manual de solos ácidos no Acre**, cap. 1, 2002.

ARAÚJO, G. S.; ARAÚJO, V. D. da S.; CARDOSO, D. R. R.; FARIA, A. F. G. de; MORENO, L. S. de B. Produtividade do capim Mombaça sob diferentes doses de fósforo. **Agri-Environmental Sciences**, v. 10, n. 1, e024004, 2024.

ARAÚJO, G. S.; ARAÚJO, V. D. da S.; CARDOSO, R. R.; FARIA, A. F. G. de; MORENO, L. S. de B. Produtividade do capim-Mombaça sob diferentes doses de fósforo. **Agri-Environmental Sciences**, v. 10, n. 1, e024004, 2024.

ARROYAVE, K. *et al.* Phosphate adsorption on goethite and its environmental implications: A molecular-scale study. **Chemosphere**, v. 310, p. 136812, 2022.

BAI, Q. *et al.* Interaction of fulvic acid with soil organo-mineral nano-aggregates and the corresponding phosphate release. **Geoderma**, v. 454, p. 116482, 2024.

BARBERO, R. P. *et al.* Production potential of beef cattle in tropical pastures: a review. **Ciência Animal Brasileira**, v. 22, e-69609, 2021.

BOLFE, É. L. *et al.* Potential for agricultural expansion in degraded pasture lands in Brazil based on geospatial databases. **Land**, v. 13, n. 2, art. 200, 2024.

BULEGON, L. G.; ZOZ, T.; CASTAGNARA, D. D.; KRUTZMANN, A.; MESQUITA, E. E.; NERES, M. A.; OLIVEIRA, P. S. R. de; TAFFAREL, L. E. Residual effect of phosphorus fertilization on productivity and bromatologic composition of tropical forages. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 15, n. 1, p. 16-23, 2016.

CARNEIRO, J. S. S.; SILVA, P. S. S.; SANTOS, A. C. M.; FREITAS, G. A.; SILVA, R. R. Resposta do capim Mombaça sob efeito de fontes e doses de fósforo na adubação de formação. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 4, n. 1, p. 12-25, 2017.

CARNEVALLI, R. A.; CONGIO, G. F. de S.; SBRISSIA, A. F.; SILVA, S. C. da. Growth of *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça as affected by grazing strategies and environmental seasonality. II. Dynamics of herbage accumulation. **Crop & Pasture Science**, v. 72, n. 1, p. 66-74, 2021.

CHAGANTI, V. N.; CULMAN, S. W. Historical perspective of soil balancing theory and identifying knowledge gaps: a review. **Crop, Forage & Turfgrass Management**, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2017.

COSTA, N. de L. *et al.* Produtividade de forragem e respostas morfogênicas de *Megathyrsus maximus* cv. BRS Quênia sob adubação fosfatada. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 18, n. 7, p. 1-16, 2025.

COSTA, N. de L.; JANK, L.; MAGALHÃES, J. A.; BENDAHAN, A. B.; GIANLUPPI, V.; RODRIGUES, B. H. N.; SANTOS, F. J. de S. Produtividade de forragem e morfogênese de *Megathyrsus maximus* × *M. infestum* cv. Massai sob fertilização fosfatada. **Pubvet**, v. 16, n. 6, 2022.

FANG, X.; YANG, D.; DENG, L.; ZHANG, Y.; LIN, Z. *et al.* Phosphorus uptake, transport, and signaling in woody and model plants. **Forestry Research**, v. 4, e017, 2024.

FERNANDES, E. C. *et al.* Dinâmica de indicadores da pecuária bovina de corte na Amazônia: evidências do estado do Acre (2013–2024). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 63, e295238, 2025.

FERNANDES, Emanuela Costa *et al.* Dinâmica de indicadores da pecuária bovina de corte na Amazônia: evidências do estado do Acre (2013–2024). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 63, 2025.

GARCEZ NETO, A. F.; NASCIMENTO JUNIOR, D. do; REGAZZI, A. J.; FONSECA, D. M. da; MOSQUIM, P. R.; GOBBI, K. F. Respostas morfogênicas e estruturais de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 5, p. 1890-1900, 2002.

GONÇALVES, M. S. *et al.* Tropical grasses adaptability as a sustainable tool for recovering degraded pastures and restricting soil loss: use diagnosis and future

scenarios. **Environmental Development**, v. 47, 100887, 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados demográficos e ambientais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

INÁCIO, C. T.; CAMPOS, M. de; SILVA, C. A.; GATIBONI, L. C.; SOUSA, D. M. G. de. Struvite potential as a slow-release fertilizer for phosphorus sustainable use in tropical agriculture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 49, nspe1, e0240127, 2025.

INMET. Instituto Nacional De Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)**: dados meteorológicos. Brasília, DF: INMET, 2026. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 5 mar. 2026.

KHAN, F.; SIDDIQUE, A. B.; SHABALA, S.; ZHOU, M.; ZHAO, C. Phosphorus plays key roles in regulating plants' physiological responses to abiotic stresses. **Plants**, v. 12, n. 15, art. 2861, 2023.

LEITE, R. C.; SILVA, R. R.; LEITE, R. C.; CARNEIRO, J. S. S.; FARIA, A. J. G.; FREITAS, G. A. Farinha de carne e ossos e adubação de cobertura na produtividade de capim Mombaça. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 1, p. 59-63, jan./fev. 2019.

LE MOS, J. de O. *et al.* Phosphorus fractions in soils with distinct mineralogy and their relationship with phosphate buffer capacity indicators in Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 44, n. 1, e55148, 2022.

LIMA, E. V.; MARIA, B. G. **Recomendações de calagem e adubação de plantas forrageiras e gramados**. Brasília, DF: Embrapa, 2020.

MCDOWELL, R. W.; HAMILTON, D.; AFTAB, B.; MAHARAJAN, M.; MCCLURE, A.; DUNCAN, M.; STAVERT, A.; O'CONNOR, M. B. Phosphorus applications adjusted to optimal crop yields can help sustain global phosphorus reserves. **Nature Food**, v. 5, p. 353-361, 2024.

MELO, C. C. de F.; AMARAL, D. S.; PRADO, R. de M.; ZANINE, A. de M.; FERREIRA, D. de J.; PICCOLO, M. de C. Nanosilica modulates C:N:P stoichiometry attenuating phosphorus toxicity more than deficiency in *Megathyrsus maximus* cultivated in an Oxisol and Entisol. **Scientific Reports**, v. 13, art. 10284, 2023.

MELO, C. C. de F.; AMARAL, D. S.; ZANINE, A. de M. *et al.* Nanosilica enhances morphogenic and chemical parameters of *Megathyrsus maximus* grass under conditions of phosphorus deficiency and excess stress in different soils. **BMC Plant Biology**, v. 23, art. 497, 2023.

MIRANDA, A. G. S. de; SILVA, P. A. da; OLIVEIRA, J. T. de; CUNHA, F. F. da. Performance of Mombaça grass under irrigation and doses of biodegradable hydrotretentive polymer. **Grasses**, v. 4, n. 3, art. 32, 2025.

MOTA, L. M. de S.; CEZAR, B. H. M.; TEIXEIRA, O. de S. *et al.* Grazing management of *Panicum maximum* cvv. Mombaça and Tanzania pastures for beef

cattle: a meta-analytic study. **Crop & Pasture Science**, v. 75, n. 9, CP24001, 2024.

OLIVEIRA, J. A. de. **Desempenho de variedades forrageiras da espécie *Panicum maximum* Jacq. sob diferentes doses de adubação fosfatada em solo amazônico**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, 2022.

PACHECO, T. V. S. S.; SOUSA, L. F.; SANTOS, A. C. dos; SANTOS, J. G. D. dos; DIM, V. P.; SILVA, H. M. S. da; PACHECO, W. F. Phosphorus fertilization in the implantation of a silvopastoral system: morphogenic and structural characteristics of Mombaça grass. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 22, e2122012021, 2021.

PAUSE, A. G. S. *et al.* Nutritional value of Mombasa grass submitted to different grazing heights and nitrogen fertilization. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 1, 2021.

PIRES, G. C.; LOSS, A.; SANTOS, J. Z. L.; ARAÚJO, E. S.; CORRÊA, M. M. Fertilization strategies to improve phosphorus availability and soil quality in integrated crop-livestock system in tropical soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 49, e0240175, 2025.

RODRIGUES, M. O. D. *et al.* Altura de corte do capim-mombaça em sistemas silvopastoris e de monocultura. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 5,

SANTOS, E. F. *et al.* Unravelling homeostasis effects of phosphorus and zinc nutrition and antioxidant metabolism in cotton plants. **Scientific Reports**, v. 11, art. 1467, 2021.

SANTOS, P. M. *et al.* Implementação de sistemas silvopastoris sob ciclagem de nutrientes em vegetação secundária na Amazônia. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 4, p. 1447-1458, 2018.

SANTOS, P. M.; THORNTON, B.; CORSI, M. Adaptation of the C4 grass *Panicum maximum* to defoliation is related to plasticity of N uptake, mobilisation and allocation patterns. **Scientia Agricola**, v. 69, n. 5, p. 293-299, set./out. 2012.

SICA, P. M. S.; KOPP, C.; MAGID, J.; MÜLLER-STÖVER, D. Strategic placement of mineral and biobased fertilizers for optimizing phosphorus use efficiency: A comprehensive review. **Soil Use and Management**, v. 41, n. 1, p. e70039, 2025.

SILVA, J. P. da *et al.* Soil fertility characterization in Brazilian pastures through soil chemical and physical analysis. **Geoderma Regional**, v. 43, e01010, 2025.

SILVA, S. C. da; UEBELE, M. C.; CONGIO, G. F. de S.; CARNEVALLI, R. A.; SBRISSIA, A. F. Growth of *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça as affected by grazing strategies and environmental seasonality: I. tillering dynamics and population stability. **Crop & Pasture Science**, v. 72, n. 1, p. 55-65, 2021.

SILVA, S. C.; BUENO, A. A. de O.; CARNEVALLI, R. A.; UEBELE, M. C.; BUENO,

F. O.; HODGSON, J.; MATTHEW, C.; ARNOLD, G. C.; MORAIS, J. P. G. Sward structural characteristics and herbage accumulation of *Panicum maximum* cv. Mombaça subjected to rotational stocking managements. **Scientia Agricola** (Piracicaba, Braz.), v. 66, n. 1, p. 8-19, jan./fev. 2009.

SILVA, W. C.; GATIBONI, L. C.; SOUSA, D. M. G. de; CUNHA, G. O. M.; SANTOS, D. R. Establishing environmental soil phosphorus thresholds to minimize risks in weathered soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 47, e0230037, 2023.

SOUZA, J. G. *et al.* Calagem e adubação no crescimento do capim mombaça em Rorainópolis, Roraima. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 12, 2019.

STABILE, M. C. C. *et al.* Land sparing and sustainable intensification within the livestock sector. **Sustainability Challenges of Brazilian Agriculture**, p. 210-240, 2023.

SUN, Y.; LIU, Y.; LIU, C.; ZHANG, Y.; LI, X. *et al.* Phosphorus partitioning contributes to grain phosphorus-use efficiency under low phosphorus availability in maize. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 1223532, 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TELES, N. *et al.* Pasture degradation estimates through field data in the state of Goiás, Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 36, n. 18, p. 6539-6548, 2025.

TORRES, F. E.; TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; OLIVEIRA, E. P. de; OLIVEIRA, M. V. M. de; SILVA JUNIOR, C. A. da; CORRÊA, C. C. G. **Doses of phosphorus on initial development and forage production of cultivars of *Panicum maximum***. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 6, p. 1537-1544, 2016.

WADT, P. G. S. **Manejo de solos ácidos do Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2002. 28 p. (Embrapa Acre. Documentos, 79).

YU, B. G. *et al.* Responses in zinc uptake of different mycorrhizal and nonmycorrhizal crops to phosphorus application and zinc deficiency stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 2020.

ZANDONÁ, S. R.; COTTA, J. A. O.; SILVA, C. A.; NOVAIS, S. V.; CURI, N. Soil-aggregate phosphorus and its correlation with edaphic attributes in Brazilian tropical soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 49, e0240121, 2025.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Efeito da interação da época de corte e das doses na altura de Mombaça

Época	Dose de fósforo (kg/ha)					
	0	100	200	400	600	800
45	10,18b	43,22b	44,05c	42,27c	44,85c	43,62c
90	56,95a	67,14a	72,50a	72,85a	69,85a	69,75a
135	55,90a	59,65a	62,70b	59,75b	57,75b	58,90b

APÊNDICE B – Efeito secundário dentro do primário, número de perfilhos

Época	Dose de fósforo (kg/ha)					
	0	100	200	400	600	800
45	1,30b	3,81a	3,56b	3,80a	3,85a	3,91b
90	3,50a	4,19a	4,60a	3,55a	4,55a	5,10 ^a
135	1,20b	3,40a	3,40b	4,00a	4,20a	4,90 ^a

APÊNDICE C – Efeito secundário dentro do primário, massa fresca

Época	Dose de fósforo (kg/ha)					
	0	100	200	400	600	800
45	0,80b	16,31b	17,31b	16,43b	16,39b	18,23b
90	13,25a	37,06a	37,85a	38,85a	41,02a	42,77a
135	9,85a	15,40b	15,74b	16,37b	16,34b	16,84b

APÊNDICE D – Efeito secundário dentro do primário, massa seca foliar

Época	Dose de fósforo (kg/ha)					
	0	100	200	400	600	800
45	0,17b	5,61b	6,26b	5,76b	6,16b	6,34b
90	4,14a	11,53a	13,08a	12,90a	14,13a	14,55a
135	3,18a	5,06b	5,25b	5,20b	5,59b	5,70b