

Campus Ariquemes
Coordenação do curso Bacharelado em Agronomia

VALÉRIA DE OLIVEIRA ALVES

**MÉTODOS DE DISTRIBUIÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO SOLO PARA
ESTABELECIMENTO DE *Brachiaria***

Ariquemes – RO

2025

VALÉRIA DE OLIVEIRA ALVES

**MÉTODOS DE DISTRIBUIÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO SOLO PARA
ESTABELECIMENTO DE *Brachiaria***

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Ariquemes, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel, junto ao Curso de Agronomia, sob a orientação da professora: Luciane da Cunha Codognoto

Ariquemes - RO

2025

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

Alves, Valéria de Oliveira.
Métodos de distribuição da adubação fosfatada no solo para
estabelecimento de *Brachiaria* / Valéria de Oliveira Alves. -
Ariquemes, 2026.
24 f. : il.

Orientador(a): Dra. Luciane da Cunha Codognoto.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia -
IFRO, Ariquemes, 2026.

1. Eficiência de uso do fósforo. 2. Gramínea tropical. 3.
Estabelecimento de pastagens. 4. Manejo da fertilidade do solo. 5.
Brachiaria brizantha. I. Codognoto, Luciane da Cunha (orient.). II.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia -
IFRO. III. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Renilce Silva Moraes, CRB-11/906

VALÉRIA DE OLIVEIRA ALVES

**MÉTODOS DE DISTRIBUIÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO SOLO PARA
ESTABELECIMENTO DE *Brachiaria***

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Ariquemes, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel, junto ao Curso de Agronomia, sob a orientação da professora: Luciane da Cunha Codognoto

Aprovado em: 01/12/2025 pela banca examinadora

Membro da banca

Membro da banca

Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me proporcionar saúde a todo esse trajeto.

Ao IFRO campus Ariquemes pela excelência de ensino.

À professora Dr^a. Luciane da Cunha Codognoto, pela orientação segura.

A todos os mestres e professores que fizeram parte da minha formação.

A minha mãe, que sempre me apoiou e foi sempre meu exemplo de vida a ser seguido.

MÉTODOS DE DISTRIBUIÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO SOLO PARA ESTABELECIMENTO DE *Brachiaria*

RESUMO: O Brasil possui cerca de 20% do território ocupado por pastagens, que constituem a principal classe de uso da terra e a base da pecuária nacional. No entanto, grande parte das áreas de pastagem apresenta deficiências de manejo, especialmente quanto à reposição de nutrientes via adubação, o que resulta em degradação gradual e redução da produtividade. Entre os macronutrientes essenciais, o fósforo destaca-se como um dos principais limitantes ao desenvolvimento das forrageiras tropicais, devido à baixa mobilidade no solo características típicas dos solos argilosos. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes profundidades de aplicação do fertilizante fosfatado (superfosfato simples) sobre o desenvolvimento inicial de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos (posicionamentos do fertilizante fosfatado) e quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais (vasos), avaliadas em quatro cortes sucessivos (repetidas a cada 21 dias). Considerou-se o posicionamento do fósforo como fator principal e, corte como fator secundário (parcela repetidas no tempo). As combinações de tratamentos foram: (1) testemunha (sem adubação fosfatada); (2) aplicação superficial; (3) fertilizante a 1 cm; (4) fertilizante a 6 cm; (5) fertilizante incorporado a 20 cm. A dose aplicada foi equivalente a 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅. As variáveis morfológicas e produtivas foram mensuradas em cada corte; a massa seca de raízes foi determinada no quarto corte (medida única). Conclui-se que a aplicação do superfosfato simples a 6 cm de profundidade representa a condição mais favorável para o desenvolvimento inicial do capim Marandu, sob condições tropicais de solo com reação alcalina, no qual, apesar dos teores moderados de fósforo, sua disponibilidade é limitada, contribuindo para o uso mais eficiente de fertilizantes fosfatados em sistemas de produção de pastagens

Palavras-chave: Eficiência de uso do fósforo; Gramínea tropical; Estabelecimento de pastagens; Manejo da fertilidade do solo; *Brachiaria brizantha*.

METHODS OF DISTRIBUTING PHOSPHATE FERTILIZER IN THE SOIL FOR THE ESTABLISHMENT OF BRACHIARIA

ABSTRACT: Brazil has approximately 20% of its territory occupied by pastures, which constitute the main land use class and the basis of the national livestock industry. However, a large part of the pasture areas presents management deficiencies, especially regarding nutrient replenishment through fertilization, resulting in gradual degradation and reduced productivity. Among the essential macronutrients, phosphorus stands out as one of the main limiting factors for the development of tropical forage grasses, due to its low mobility in the soil, a characteristic typical of clay soils. This study aimed to evaluate the effect of different application depths of phosphate fertilizer (single superphosphate) on the initial development of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. The experiment was conducted in a completely randomized design (CRD), with five treatments (positioning of phosphate fertilizer) and four replications, totaling 20 experimental units (pots). The same experimental units were evaluated in four successive cuts (repeated measurements every 21 days). Thus, phosphorus placement was considered the primary factor and cutting depth a secondary factor (repeated plots over time). The treatment combinations were: (1) control (no phosphate fertilization); (2) surface application; (3) fertilizer at 1 cm; (4) fertilizer at 6 cm; (5) fertilizer incorporated at 20 cm. The applied dose was equivalent to 70 kg ha⁻¹ of P₂O₅. Morphological and productive variables were measured at each cutting depth; root dry mass was determined only at the fourth cutting depth (single measurement). It is concluded that the application of single superphosphate at a depth of 6 cm represents the most favorable condition for the initial development of Marandu grass, under tropical soil conditions with alkaline reaction, in which, despite moderate phosphorus levels, its availability is limited, contributing to the more efficient use of phosphate fertilizers in pasture production systems.

Keywords: Phosphorus use efficiency; Tropical grass; Pasture establishment; Soil fertility management; *Brachiaria brizantha*.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	8
MATERIAIS E MÉTODOS	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
CONCLUSÃO	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

INTRODUÇÃO

O Brasil possui cerca de 20% do território ocupado por pastagens, configurando-se como a principal forma de uso e cobertura da terra no país (Malaquias et al., 2019). Com um rebanho comercial de aproximadamente 239 milhões de cabeças, o país se destaca como um dos maiores produtores mundiais de carne bovina, com produção estimada em 11,85 milhões de toneladas em equivalente carcaça (CNA, 2024). Apesar dessa relevância, a pecuária nacional ainda é predominantemente extensiva, baseada em práticas de manejo de baixa eficiência, refletindo um modelo produtivo de caráter extrativista, o que contribui para a degradação progressiva das pastagens (Dias-Filho, 2014).

A degradação das pastagens caracteriza-se pela redução contínua da produtividade e do valor nutritivo das forrageiras ao longo do tempo. Entre os principais fatores associados a esse processo estão o manejo inadequado, a baixa fertilidade dos solos, falhas no estabelecimento inicial, a escolha inadequada da espécie forrageira e a ausência de reposição de nutrientes por meio da adubação (Peron e Evangelista, 2003; Oliveira, 2008; Dias-Filho, 2017). Nesse contexto, a adoção de práticas que promovam a fertilidade do solo e a eficiência no uso de nutrientes é essencial para a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Pimenta et al., 2010).

Dentre as forrageiras tropicais, destaca-se a *Urochloa brizantha* cv. Marandu, amplamente utilizada em função de sua adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas e boa capacidade de produção de biomassa. No entanto, o sucesso no estabelecimento e na persistência forrageira está diretamente relacionado à disponibilidade de nutrientes no solo, especialmente o fósforo.

O fósforo (P) é um dos nutrientes mais importantes para o crescimento vegetal, atuando em processos fundamentais como a transferência de energia, a fotossíntese, a respiração e a divisão celular (Lopes, 1998). Além disso, desempenha papel essencial no desenvolvimento do sistema radicular e no perfilhamento das gramíneas forrageiras, sendo determinante para o estabelecimento inicial das pastagens (IEIRI et al., 2010). Em solos tropicais, a disponibilidade de fósforo pode ser limitada por reações químicas que reduzem sua permanência na solução do solo, como processos de adsorção e precipitação com elementos presentes na matriz do solo (Resende, 2004). A reação do solo exerce forte

influência nesse processo, podendo restringir a disponibilidade do nutriente mesmo em condições em que os teores totais ou extraíveis sejam considerados adequados.

A adubação fosfatada em pastagens ocorre em duas fases principais: estabelecimento e manutenção (Vilela et al., 1998). Durante o estabelecimento, a demanda por fósforo é mais elevada, uma vez que o nutriente favorece o desenvolvimento radicular e a rápida cobertura do solo. Portanto, a deficiência compromete o crescimento inicial e retarda o uso da pastagem (Soares et al., 2001). Em pastagens já estabelecidas, a exigência é reduzida, devido à maior capacidade de exploração do solo pelo sistema radicular (Pereira et al., 2018). Além da quantidade aplicada, o posicionamento do fertilizante fosfatado no perfil do solo influencia diretamente a eficiência de uso do nutriente. Devido à sua baixa mobilidade, o fósforo deve ser posicionado de forma a maximizar o contato com o sistema radicular, reduzindo perdas por reações no solo e aumentando sua disponibilidade às plantas (Sousa et al., 2016). Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes profundidades de aplicação do fertilizante fosfatado no estabelecimento e crescimento inicial de *Urochloa brizantha* cv. Marandu sobre a eficiência produtiva da forrageira.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação sob condições controladas, no Instituto Federal de Rondônia – *Campus Ariquemes*, entre agosto de 2024 e janeiro de 2025, totalizando 130 dias experimentais. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com cinco tratamentos e quatro repetições, resultando em 20 unidades experimentais. Os tratamentos principais corresponderam às diferentes posições do fertilizante fosfatado no substrato de cultivo, sendo: (1) testemunha, sem adubação fosfatada; (2) aplicação superficial do fertilizante; (3) posicionamento a 1 cm de profundidade; (4) posicionamento a 6 cm de profundidade; e (5) incorporação a 20 cm de profundidade. Como fator secundário, a forrageira foi avaliada em 4 colheitas/cortes consecutivos.

Cada vaso (unidade experimental), com 8 dm³ de capacidade e área superficial de 0,038 m², foi preenchido com substrato constituído por Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, areia lavada e composto orgânico, nas proporções de 60:24:16, respectivamente, considerando densidade média equivalente a 1,1 kg dm⁻³. A análise físico-química do substrato foi realizada em laboratório comercial, e segue resultado no Quadro 1.

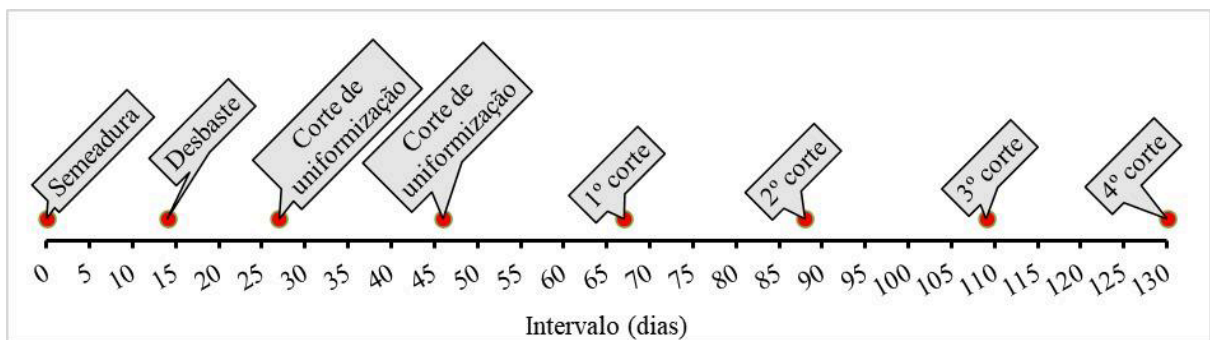
Quadro 1. Características físico-químicas do substrato, antes do experimento.

Propriedade	Resultado
Areia, g kg ⁻¹	458
Silte, g kg ⁻¹	107
Argila, g kg ⁻¹	435
Matéria orgânica, g dm ⁻³	15
pH (H ₂ O)	7,8
P (Mehlich), mg dm ⁻³	19,3
S, mg dm ⁻³	49,2
K ⁺ , mg dm ⁻³	134,2
B, mg dm ⁻³	0,28
Fe, mg dm ⁻³	35
Mn, mg dm ⁻³	15,4
Zn, mg dm ⁻³	1,6
Cu, mg dm ⁻³	0,6
Ca ²⁺ , cmol _c dm ⁻³	3,8
Mg ²⁺ , cmol _c dm ⁻³	0,4

Al ³⁺ , cmol _c dm ⁻³	0,0
H + Al, cmol _c dm ⁻³	1,2
SB, cmol _c dm ⁻³	4,54
CTC, cmol _c dm ⁻³	5,7
V, %	80

Para sementeira, utilizou-se sementes nuas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, valor cultural 80%, safra 2023/2024. As sementes foram depositadas a 1 cm de profundidade em substrato previamente umedecido, com 15 sementes por vaso. Na sequência, houve compactação do substrato com cilindro de concreto, exercendo pressão aproximada de 300 g cm⁻², para garantir o adequado contato solo-semente. Após a emergência, aos 14 dias (Figura 1), procedeu-se ao desbaste, mantendo duas plantas por vaso. A adubação fosfatada foi realizada no momento da sementeira, utilizando superfosfato simples (18% P₂O₅; 16% Ca; 12% S), na dose de 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅, conforme Cantarutti; Alvarez e Ribeiro (1999), posicionada conforme os tratamentos. Durante o período experimental, a umidade do substrato foi mantida com rega a cada 48 horas, equivalente a precipitação simulada de 16 mm por irrigação.

Figura 1. Cronograma de condução do experimento.



Fonte: Alves, 2025.

Quando 80% das unidades experimentais atingiram a altura média de 25 cm, realizou-se o corte de uniformização, mantendo-se uma altura residual de 15 cm acima da superfície do substrato, de modo a preservar as gemas basais para rebrota (Dias-Filho, 2012; Bortoluzzi et al., 2017). Ao 2º corte de uniformização e nos três cortes subsequentes (1º, 2º e 3º), foram realizadas adubações nitrogenadas e potássicas, utilizando-se sulfato de amônio e

cloreto de potássio como fontes, nas doses equivalentes a 50 kg ha⁻¹ de N e 40 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente (Cantarutti; Alvarez; Ribeiro 1999). Os cortes avaliativos foram realizados a cada 21 dias, totalizando quatro colheitas ao longo do período experimental (Figura 1).

Nos quatro cortes avaliativos foram determinadas as seguintes variáveis: altura da forragem (ALT), medida com régua milimetrada, da superfície do substrato até a altura média do dossel forrageiro; número de perfilhos por vaso (NPV), obtido por contagem direta de perfilhos vivos; massa seca foliar (MSF) e massa seca de colmo (MSC), determinadas após a separação dos componentes morfológicos (folhas e pseudocolmos, este formado por colmo + bainha); e, produção de biomassa (PROD), a partir da soma da MSF e MSC.

De medida única, foram obtidos: massa seca de raízes (MSR), após o quarto corte avaliativo; e, produção total acumulada (PTA), a partir da soma de PROD dos quatro cortes avaliativos. Neste caso, seguiu-se análise em DIC, constituído dos quatro tratamentos e testemunha, e quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais.

Após cada corte, as amostras foram secas em estufa com ventilação forçada a 55 °C por 72 h, conforme Detmann et al. (2021), sendo a produção expressa em g vaso⁻¹. Para determinação da MSR, as plantas foram cuidadosamente retiradas dos vasos, as raízes lavadas em peneira de malha fina sob água corrente e, em seguida, submetidas à secagem nas mesmas condições da parte aérea.

Os dados obtidos foram analisados por análise de variância (ANOVA) utilizando o programa SISVAR (Ferreira, 2019). Quando identificado efeito significativo ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (Tabela 1) demonstrou que a distribuição da adubação fosfatada (D) apresentou efeito significativo para as variáveis massa seca de colmo (MSC) ($p < 0,01$) e produção de biomassa (PROD) ($p < 0,05$). O fator corte (C) foi altamente significativo ($p < 0,01$) para as variáveis: altura da forragem (ALT), número de perfilhos por vaso (NPV), massa seca foliar (MSF), MSC e PROD. A ausência de interação significativa entre os fatores (D \times C) indica que os efeitos da distribuição da adubação fosfatada (D) e dos cortes (C) atuaram de forma independente; portanto, a resposta das plantas à adubação não foi influenciada pelo número de cortes, e o efeito dos cortes sobre o crescimento não dependeu da forma como o fertilizante foi aplicado (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para altura da forragem (ALT), número de perfilhos por vaso (NPV), massa seca foliar (MSF), massa seca de colmo (MSC) e produção de biomassa (PROD) de capim Marandu submetidos a diferentes posições de distribuição da adubação fosfatada (D) em quatro avaliações (C).

Variável	Disposição da adubação fosfatada (D)	Corte (C)	D x C	CV ⁽¹⁾ , %	Média
	----- (Valor de F) -----				
ALT, cm	2,091 ^{ns}	12,672 **	0,507 ^{ns}	9,78	65,11
NPV, n° vaso ⁻¹	2,376 ^{ns}	349,331 **	0,589 ^{ns}	15,05	14,86
MSF, g vaso ⁻¹	1,590 ^{ns}	222,108 **	0,891 ^{ns}	13,43	6,13
MSC, g vaso ⁻¹	5,344 **	138,283 **	0,558 ^{ns}	21,74	2,08
PROD, g vaso ⁻¹	3,034 *	281,635 **	1,008 ^{ns}	12,73	8,21

⁽¹⁾ CV: coeficiente de variação. **, * e ns, significativo a 1, 5% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.

A MSC no tratamento em que a adubação fosfatada foi posicionada a 6 cm de profundidade diferiu significativamente dos tratamentos com aplicação a 1 cm da superfície e incorporação a 20 cm (Tabela 2). No tratamento em que o fertilizante foi aplicado a 1 cm da superfície, o fósforo (P) permaneceu fora da rizosfera funcional, resultando em menor

aproveitamento das plantas. Em solos tropicais, a dinâmica do fósforo é fortemente influenciada pelas condições químicas do solo, especialmente o pH. De acordo com Prochnow et al. (2018), em ambientes com pH mais elevado, há maior tendência de precipitação do fósforo com cátions como cálcio (Ca^{2+}), formando compostos de baixa solubilidade, o que reduz significativamente sua disponibilidade para as plantas.

Tabela 2. Médias de massa seca de colmo (MSC) e produção (PROD) de capim Marandu submetidos a diferentes posições de distribuição da adubação fosfatada.

Distribuição da adubação fosfatada	MSC (g vaso ⁻¹)	PROD (g vaso ⁻¹)
Controle (sem adubação)	2,07 ab	8,39 ab
Em superfície	2,17 ab	8,56 ab
A 1 cm de profundidade	1,83 b	7,89 ab
A 6 cm de profundidade	2,46 a	8,62 a
Incorporado aos 20 cm de solo	1,84 b	7,58 b

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem significativamente ($p < 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

No presente estudo, o substrato apresentou pH de 7,8 (quadro 1), caracterizando condição alcalina, associada a elevada saturação por bases. Nessas condições, mesmo com teores considerados moderados de fósforo ($19,3 \text{ mg dm}^{-3}$), a fração disponível do nutriente na solução do solo torna-se limitada, devido à formação de fosfatos de cálcio pouco solúveis. Esse comportamento explica, em parte, a baixa eficiência dos tratamentos com aplicação superficial, uma vez que o fósforo tende a permanecer concentrado na camada superior, onde ocorre maior contato com Ca e consequente precipitação.

Além disso, conforme destacado por Prochnow et al. (2018), a baixa mobilidade do fósforo no solo reforça a importância do posicionamento adequado do fertilizante, pois o nutriente se desloca apenas alguns milímetros a partir do local de aplicação. Assim, em solos alcalinos, o manejo da adubação fosfatada deve priorizar estratégias que aumentem o contato do fósforo com o sistema radicular ativo e reduzam sua exposição às reações de precipitação.

Nesse contexto, o melhor desempenho observado na profundidade de 6 cm evidencia que o posicionamento intermediário favoreceu o equilíbrio entre disponibilidade e acessibilidade do fósforo, minimizando sua fixação e maximizando a absorção pelas raízes, especialmente na fase inicial de estabelecimento do capim Marandu.

Conforme Paiva et al. (2023), em solos alcalinos, o fósforo tende a reagir rapidamente com cálcio (Ca^{2+}), formando compostos insolúveis como fosfato de cálcio; e, com óxidos de ferro (Fe_2O_3), que adsorvem o fósforo na superfície das partículas. Assim, considerando que o capim Marandu absorve mais P nos primeiros estágios de crescimento, o manejo da fertilização é crucial ao estabelecimento do cultivo. Nestas condições, ocorre comprometimento das funções fisiológicas essenciais, como a síntese de ATP, o alongamento celular e a formação de tecidos estruturais, resultando em menor vigor vegetativo e redução da MSC (Tabela 2). No tratamento com incorporação do fertilizante a 20 cm, a redução da eficiência de uso do P provavelmente decorre da diluição do fertilizante em maior volume de solo, diminuindo o contato com o sistema radicular ativo e favorecendo as reações de precipitação. Portanto, ocorre descompasso espacial e temporal entre a posição do nutriente e a demanda fisiológica das plantas, resultando em menor produção de biomassa estrutural.

Embora os dados de arquitetura radicular sejam provenientes de *Brachiaria humidicola*, espécie do mesmo gênero, Costa et al. (2002) relataram que 73,6% do sistema radicular total é composto por raízes finas; e, que nos 10 cm superficiais do solo, 78,2% totalizam raízes finas. Assim, o posicionamento do fertilizante a 6 cm de profundidade localizou o P na zona de máxima exploração radicular, favorecendo o contato entre o nutriente e as raízes mais absorventes. Conforme Lopez-Arredondo et al. (2014), as raízes finas são responsáveis por até 90% da absorção de fósforo pelas plantas, o que explica a maior eficiência do tratamento na nutrição e no crescimento inicial do capim Marandu.

O P é um nutriente de baixa mobilidade no solo, difundindo-se apenas alguns milímetros a partir da fonte de aplicação. Em ensaio controlado de laboratório, Faria e Pereira (1993) observaram deslocamento do P entre 4 e 6 cm sob aplicação de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 , indicando que tal mobilidade ocorre apenas em condições de alta dose e condições favoráveis à difusão. Conforme observado por Paiva et al. (2023), a disponibilidade de fósforo no solo tende a diminuir expressivamente nos primeiros 30–60 dias após a adubação, estabilizando em torno de 120 dias. Nesse contexto, o posicionamento do fertilizante a 6 cm de

profundidade mostrou-se estratégico, pois coincidiu com a zona de maior densidade de raízes finas, favorecendo o contato íon-raiz durante o período de maior labilidade do P. Assim, nesse tratamento, a disposição do adubo reduziu a distância de difusão do fósforo no solo, ampliando a eficiência de absorção do nutriente e resultando no incremento significativo da MSC observado neste tratamento (Tabela 2).

Os tratamentos com deposição superficial do fertilizante fosfatado (a 1 cm de profundidade) e sem adubação fosfatada (controle) apresentaram MSC estatisticamente intermediários (Tabela 2), indicando que a aplicação superficial não promoveu incremento expressivo na disponibilidade de fósforo para o capim Marandu, refletindo em mais baixa eficiência fisiológica e produtiva dos tratamentos. No posicionamento superficial, a baixa mobilidade do P e a tendência à fixação progressiva aos coloides minerais limitaram o deslocamento do nutriente em direção à zona radicular, reduzindo a eficiência de absorção. Já no tratamento controle, o crescimento inicial das plantas dependeu exclusivamente do fósforo nativo do solo, cujo teor extraível é considerado moderado (Quadro 1), mas com disponibilidade restrita pela alcalinidade e pela formação de fosfatos de cálcio de baixa solubilidade.

A variável PROD apresentou comportamento semelhante ao observado para a MSC, sendo significativamente superior o tratamento em que a adubação fosfatada foi posicionada a 6 cm de profundidade (Tabela 2), refletindo em maior acúmulo de biomassa forrageira e desempenho fisiológico durante o estabelecimento do capim Marandu. O fósforo é essencial à formação de ATP, à síntese de ácidos nucleicos e à transferência de energia nos processos metabólicos da planta; e a disponibilidade adequada é determinante para a divisão e expansão celular, sustentando o desenvolvimento da parte aérea (Serra et al., 2017; Pires et al., 2025). A superior PROD observada no tratamento com deposição do fertilizante a 6 cm de profundidade reflete a sinergia entre disponibilidade de P e eficiência fotossintética, resultante do melhor suprimento energético às folhas e colmos.

Nos tratamentos com aplicação superficial e controle, o desempenho produtivo foi intermediário (Tabela 2). No caso da aplicação superficial, o pH alcalino e o teor de cálcio (Quadro 1) favoreceram a precipitação de P na forma de fosfatos de cálcio, reduzindo a disponibilidade às raízes. Já no controle, o desenvolvimento inicial das plantas dependeu do fósforo presente no substrato, de teor moderado, mas com disponibilidade limitada pela

reação alcalina. Nessa condição, o capim Marandu pode ter ativado mecanismos fisiológicos de tolerância e eficiência radicular, incluindo a liberação de exsudatos orgânicos que promovem acidificação localizada da rizosfera e solubilizam compostos de P pouco disponíveis, especialmente os fosfatos de cálcio (Qetrani; Bouray; Oukarroum, 2024). A acidificação localizada aumenta a mobilidade do nutriente, ampliando a disponibilidade na proximidade das raízes e contribuindo para a manutenção da absorção e do crescimento em ambientes de alta saturação por bases e pH elevado (López-Arredondo et al., 2014). Assim, o posicionamento intermediário a 6 cm representou o ponto de equilíbrio entre acessibilidade radicular e menor precipitação do fósforo, promovendo maior eficiência fisiológica e produtiva do capim Marandu.

O desenvolvimento do capim Marandu ao longo dos quatro cortes evidenciou aumento progressivo e significativo em ALT, NPV, MSF, MSC e PROD (Tabela 3), confirmando o modelo morfogênico descrito por Lemaire (2001), segundo o qual o crescimento das gramíneas resulta da interação entre o alongamento e o aparecimento de folhas por perfilho e o incremento no número de perfilhos por área. O comportamento observado reflete a maturação fisiológica e a eficiência adaptativa da espécie que, após o estabelecimento inicial, apresentou acúmulo contínuo de biomassa sustentado pela expansão foliar e pela formação de tecidos estruturais.

Tabela 3. Médias de altura da forragem (ALT), número de perfilhos por vaso (NPV), massa seca foliar (MSF), massa seca de colmo (MSC) e produção (PROD) de capim Marandu em quatro cortes avaliativos.

Variável	1° corte	2° corte	3° corte	4° corte
ALT, cm	58,75 b ⁽¹⁾	64,75 ab	65,85 ab	71,10 a
NPV	6,55 d	8,80 c	16,90 b	27,20 a
MSF, g vaso ⁻¹	3,11 d	4,82 c	7,23 b	9,38 a
MSC, g vaso ⁻¹	0,96 d	1,41 c	2,36 b	3,62 a
PROD, g vaso ⁻¹	4,07 d	6,22 c	9,58 b	12,99 a

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras diferentes na linha, diferem significativamente ($p < 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

O incremento da altura da forragem entre os cortes avaliativos inicial e final, de 12,35 cm, reflete o crescimento contínuo dos colmos e folhas, acompanhado pelo acúmulo de tecidos estruturais. O crescimento forrageiro foi impulsionado pela restauração de reservas de carboidratos nas raízes e ampliação da área fotossintética ativa após cada corte. De acordo com Aragão et al. (2016), o alongamento do colmo é um componente essencial da arquitetura do dossel, pois promove maior interceptação luminosa, permitindo à planta sustentar maior taxa de crescimento relativo e acúmulo de biomassa aérea.

O perfilhamento (NPV) mostrou o maior incremento relativo entre os parâmetros avaliados, aumentando mais de quatro vezes entre o primeiro e o quarto corte (Tabela 3), confirmando o vigor vegetativo e a plasticidade morfológica do capim Marandu, características que conferem à espécie resiliência as condições de manejo/corte. O aumento do número de perfilhos é consequência da maior atividade meristemática das gemas basais, favorecida pela manutenção de resíduo pós-corte, o que assegura tecidos fotossintéticos residuais e reservas energéticas suficientes para estimular a brotação subsequente (Santos et al., 2011; Santos et al., 2014).

A massa seca foliar (MSF) e a massa seca de colmo (MSC) seguiram o mesmo padrão de incremento, resultando na elevação da produção de biomassa (PROD), equivalente a 219,16%, entre o primeiro e o quarto cortes (Tabela 3). O aumento concomitante de MSF e MSC indica relação equilibrada entre o crescimento fotossintético e o estrutural, evidenciando que o acúmulo de biomassa foi sustentado tanto pelo aumento da área foliar quanto pela expansão dos tecidos de sustentação. De tal modo, evidencia-se a eficiência do acoplamento morfogênico, em que o crescimento em altura, o perfilhamento e a expansão foliar atuam de forma sincronizada (Lemaire, 1999; Carvalho et al., 2021).

As Tabelas 4 e 5 indicaram ausência de efeito significativo ($p > 0,05$) das posições de aplicação do fertilizante fosfatado sobre a massa seca de raízes (MSR) e a produção total acumulada (PTA) do capim Marandu.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para massa seca de raiz (MSR) e produção total acumulada (PTA) de capim Marandu sob diferentes métodos de distribuição da adubação fosfatada.

Variável	Distribuição da adubação fosfatada (D)	CV ⁽¹⁾ , %	Média
MSR, g vaso ⁻¹	0,231 ^{ns}	20,01	13,94
PTA, g vaso ⁻¹	1,430 ^{ns}	9,27	32,83

⁽¹⁾ CV: coeficiente de variação. ^{ns}, não-significativo pelo Teste F.

Tabela 5. Médias de massa seca de raiz (MSR) e produção total acumulada (PTA) de capim Marandu sob diferentes métodos de distribuição da adubação fosfatada.

Distribuição da adubação fosfatada	MSR -- (g vaso ⁻¹) --	PTA -- (g vaso ⁻¹) --
Controle (sem adubação)	13,93	33,58
Em superfície	13,08	34,23
A 1 cm de profundidade	13,53	31,55
A 6 cm de profundidade	14,45	34,75
Incorporado aos 20 cm de solo	14,73	30,30

Nas condições experimentais, o P tende a ser precipitado, reduzindo a solubilidade e uniformizando a disponibilidade entre as posições de aplicação. Além disso, a baixa mobilidade do nutriente no solo e o tempo reduzido de difusão dentro das unidades experimentais (vasos) limitam o diferencial de absorção entre camadas, especialmente no curto prazo (Prochnow et al., 2018; El Attar et al., 2022). Considerando o ambiente confinado dos vasos, pode ter ocorrido plasticidade radicular, permitindo que as raízes rapidamente explorem o substrato, inclusive as zonas de maior concentração do nutriente. Esse comportamento pode ter atenuado as diferenças entre tratamentos, o que explica a ausência de significância estatística para MSR e PTA. Ainda assim, o posicionamento intermediário (6 cm) manteve uma tendência de maior eficiência, sugerindo que, mesmo em condições alcalinas, o fósforo posicionado na zona de maior densidade radicular otimiza o aproveitamento fisiológico.

Para PTA (Tabela 5), o ambiente edáfico tendeu a suavizar as diferenças entre tratamentos, uma vez que o P aplicado foi parcialmente precipitado, reduzindo a fração solúvel antes que pudesse impactar consistentemente a produção acumulada. Em solos de

reação alcalina e alta saturação por bases, como o utilizado neste estudo, a precipitação de P-Ca limita a resposta imediata à adubação, exigindo tempo de reequilíbrio químico e sucessivos ciclos de cultivo para que o fósforo retorne gradualmente à solução e contribua de forma estável para o acúmulo de biomassa (Prochnow et al., 2018; El Attar et al., 2022). Assim, ainda que as diferenças não tenham sido estatisticamente significativas, as maiores médias de MSR e PTA observadas na profundidade de 6 cm (Tabela 5) indicam que o posicionamento intermediário do fósforo favoreceu a exploração radicular e o suprimento fisiológico à produção aérea, demonstrando eficiência espacial do nutriente mesmo em condições alcalinas.

CONCLUSÃO

O posicionamento a 6 cm de profundidade do fertilizante fosfatado influenciou o desenvolvimento inicial de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, promovendo maior acúmulo de biomassa e massa seca de colmo.

Em condições de reação alcalina, a aplicação superficial ou em maior profundidade reduz a eficiência de uso do fósforo, possivelmente devido à maior ocorrência de precipitação com cálcio e ao descompasso entre a localização do nutriente e a dinâmica do sistema radicular.

A ausência de efeito sobre a massa seca de raízes e a produção total acumulada indica que o posicionamento do fósforo exerce maior influência sobre o crescimento inicial da parte aérea do que sobre o acúmulo total de biomassa no curto prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, L. S.; CAVALLI, J.; CARVALHO, P. de; PEREIRA, D. H.; PEDREIRA, B. C. e. Correlação entre altura do dossel e interceptação luminosa para cultivares de *Panicum maximum*. In: **SIMPÓSIO DE PECUÁRIA INTEGRADA**, 2., 2016, Sinop. Recuperação de pastagens: anais. Cuiabá: Fundação Uniselva, p. 226–227, 2016. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1060746> Acesso em: 25 out. 2025.

CANTARUTTI, R. B.; ALVAREZ, V. V. H.; RIBEIRO, A.C. Pastagens. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: 1999. p. 332-341.

CARVALHO, B. H. R.; MARTUSCELLO, J.A.; ROCHA, G. O.; SILVA, N. A. M; BORGES, G. S.; SANTOS, M. E. R.. **Tillering dynamics in spring and summer of Marandu palisade grass pastures previously used under deferred grazing**. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 73, n. 6, p. 1422–1430, 2021. DOI: 10.1590/1678-4162-12333

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Os ganhos para a pecuária brasileira com os avanços em rastreabilidade individual**. Nota Técnica Nº 10/2025, 25 abr. 2025. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/publicacoes/assunto-os-ganhos-para-a-pecuaria-brasileira-com-os-avancos-em-rastreabilidade-individual>>. Acesso: 29 out. 2025.

COSTA, F. da; PEREYRA, R.O.; PACIORNIK, S.; ABREU, J. B. R. de. Distribuição vertical de características morfológicas do sistema radicular de *Brachiaria humidicola*. **Pasturas Tropicales**, Rio de Janeiro, v.24, p.14-20, 2002.

BORTOLUZZI, F. M.; CABRAL, C. E. A.; MACHADO, R. A. F.; ABREU, J.G.; CABRAL, C. H. A.; BARROS, L. V.; Fosfato natural reativo aplicado em épocas distintas e associado a fertilizantes nitrogenados afetam a produção de capim-marandu. **Boletim de Indústria Animal**, v. 74, n. 1, p. 9-16, 2017. Doi: <https://doi.org/10.17523/bia.v74n1p9>

DETMANN, E.; SILVA, L. F. C. e; ROCHA, G. C.; PALMA, M. N. N.; RODRIGUES, J. P. P. **Métodos para análise de alimentos** - INCT - Ciência Animal. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2021. 350p.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Pará: Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402, 2014, 36p. ISSN 19830513. Disponível em: <<https://share.google/Y7fLDdAa4swx2hecG>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

DIAS-FILHO, M. B.. **Degradação de pastagens: o que é e como evitar**.. Brasília: Embrapa, 2014, p. 19. ISBN 9788570356888. Disponível em: <<https://share.google/mtRVRo31LLymcMuVj>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

EL ATTAR, I.; HNINI, M.; TAHA, K.; AURAG, J.. Phosphorus availability and its sustainable use. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, p. 5036–5048, 2022. DOI: 10.1007/s42729-022-00980-z

FARIA, C. M. B.; PEREIRA, J. R.. Movimento de fósforo no solo e seu modo de aplicação no tomateiro rasteiro. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.28, n. 12, p. 1363- 1370, dez. 1993. Disponível em: Fonte: <https://share.google/zNa0u6La3ALWRzV2z>. Acesso em: 26 out. 2025.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450> Acesso em: 30 set. 2024.

IEIRI, A. Y.; LANA, R. M. Q.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na recuperação de pastagem com *Brachiaria*. **Ciência Agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1154-1160, set./out. 2010. disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/KXSCz3Tcnjrsxk6DcvsRBdy/?lang=pt>. Acesso em: 20 mar. 2024.

LEMAIRE, G. Ecophysiology of grasslands: dynamic aspects of forage plant populations in grazed swards. In: **International grassland congress**, 18., 1999, Winnipeg and Saskatoon. Proceedings... Winnipeg: International Grassland Congress, 1999. p. 29–46.

LOPES, A. S.. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Associação Brasileira da Potássio e do Fósforo, Piracicaba, ed. 2, 1998.p. 51- 65.

LÓPEZ-ARREDONDO, D. L.; GONZÁLEZ, M. A. L.; MORALES, S. I. G.; BUCIO, J. L.; ESTRELLA, L. H.. Phosphate nutrition: improving low-phosphate tolerance in crops. **Annual Review of Plant Biology**, v. 65, p. 95-123, abr. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-035949>

MALAQUIAS, F. S. S.; TEIXEIRA, L. M. S.; PARENTE, L. L.; FERREIRA-JÚNIOR, L. G.. **Atlas digital das pastagens brasileiras: dados e informações sobre a maior classe de uso da terra do Brasil**. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, GO, v. 19, 2019, p. 2299-2302. ISBN 97885000973. disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/trabalhos/atlas-digital-das-pastagens-brasileiras-dados-e-informacoes-sobre-a-maior-classe?lang=pt-br>. Acesso em: 30 set. 2024.

OLIVEIRA, D. A. Características produtivas e valor nutritivo num ano de recuperação do capim-Braquiária com aplicações de nitrogênio e enxofre. Dissertação de mestrado, concentração solos e nutrição de plantas, Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, SP, 2008 p.11 Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-16072008-120931/publico/doliveira> > Acesso em: 20 de Set. 2024.

PAIVA, M. R. F.; OLIVEIRA, F. H. T.; ALVES, W. P. L. B.; FARIAS, M.L.; CUNHA, M. L. da; TAVARES, H. A. M.; GÓIS, H. M. M. N.; SANTOS, M. B. S. B.; ARRUDA, J. A.; GRANGEIRO, L. C.; BEZERRA, M. G. S.; SÁ, F. V. S.. Phosphorus in alkaline soils of the semiarid region, Brazil: inorganic fractions, capacity factor, and availability. **Int J Phytoremediation**, v. 25, n. 8, p. 965-980, 2023. doi: 10.1080/15226514.2022.2124232.

PEREIRA, V. V. A importância das características morfogênicas sobre o fluxo de tecidos no manejo de pastagens tropicais. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v.6, n.2, 2013. p.

289-309. Disponível em:
<<https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/2047/1939>>. Acesso em:
18 de mar. 2024.

PEREIRA, L. E. T.; NISHIDA, N. T.; CARVALHO, L. R.; HERLING, V. R.. **Recomendações para correção e adubação de pastagens tropicais**. Universidade de São Paulo. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP), Pirassununga, 2018. p. 23-33, DOI: 10.11606/9788566404227.

PERON, A. J; EVANGELISTA, A. R.. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 655-661, mai./jun. 2004. doi:
<https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000300023>. Disponível em:
<<https://www.scielo.br/j/cagro/a/9BytnhTsnJrJ5sN9RKtQhNg/abstract/?lang=pt>>. Acesso em:
18 de mar. 2024.

PIMENTA, L. M. M.; ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; STAFANATO, J. B.. Fertilidade do solo em pastagens cultivadas sob diferentes manejos, no noroeste do Rio de Janeiro. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Paraíba, v.14, n.11, 2010. p.1136-1142. Disponível em:
<<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/ScVgNmpxP6pY3MnrGbv43Wp/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 20 de mar. 2024.

PIRES, G. C.; GOTZ, L. F.; ALVES, L. A.; SILVA, L. S.; GAMA, J. P.; DENARDIN, L. G. de O.; PAVINATO, P. S.; TIECHER, T.; CARVALHO, P. C. de F.; SOUZA, E. D.. 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, spe1, e0240164, 2025. DOI: 10.36783/18069657rbcs20240164. Disponível em:
<https://www.rbcsjournal.org/wp-content/plugins/xml-to-html/include/lens/index.php?xml=1806-9657-rbcs-49-spe1-e0240164.xml&lang=en> Acesso em: 25 set. 2025.

PROCHNOW, B. L.; RESENDE, A.; JUNIOR, A.; FRANCISCO, E.; CASARIN, V.; PAVINATO, P.. Phosphorus placement for annual crops in the tropics. **Better Crops with Plant Food**, v. 102, n. 1, p. 21–24, 2018. DOI: 10.24047/BC102121 Disponível em:
Fonte:<https://share.google/jkN1m2KdehY1Q4qlU> Acesso em: 30 set. 2025.

QETRANI, S.; BOURAY, M.; OUKARROUM, A. Phosphorus mobilization and acquisition in the alkaline-calcareous rhizosphere: A synthesis. **Rhizosphere**, Amsterdam, v. 30, p. 100907, 2024. doi:10.1016/j.rhisph.2024.100907. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/381255186_Phosphorus_mobilization_and_acquisiti_on_in_the_alkaline-calcareous_rhizosphere_A_synthesis Acesso em: 25 out. 2025.

RESENDE, Á.V. de. **Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado**. 2004. Tese (doutorado, concentração Solos e Nutrição de Plantas), UFLA, Lavras, 2004.

2024.

SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M. da; GOMES, V. M.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; GOMIDE, C. A. M.; SBRISSIA, A. F.. Capim-braquiária sob lotação contínua e com altura

única ou variável durante as estações do ano: dinâmica do perfilamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 11, p. 2332–2339, nov. 2011. ISSN 18069290. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/pMSz8Szc7d6fGy49nRCNZqg/?lang=pt>. Acesso em: 20 mai. 2024.

SANTOS, M. E. R.; CASTRO, M. R. S.; GOUVÊIA, S. C.; GOMES, V. M.; FONSECA, D. M.; SANTANA, S. S.. Contribuição de perfislos aéreos e basais na dinâmica de produção de forragem do capim-braquiária após o pastejo diferido. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 30, p. 424–430, 2014. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/18023>. Acesso em: 30 set. 2025.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; DUPAS, E.; CARDUCCI, C. E.; SILVA, E. F.; PINHEIRO, E. R.. **Phosphorus in forage production**. In: EDVAN, Ricardo Loiola; BEZERRA, Leilson Rocha (ed.). *New perspectives in forage crops*. Rijeka: IntechOpen, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.70202>

SOARES, W. V.; LOBATO, E.; SOUSA, D. M. G. de; VILELA, L.. **Adubação fosfatada para manutenção de Pastagem de *Brachiaria decumbens* no Cerrado**. Embrapa Cerrados, Planaltina, n. 53, 2001. p. 1-5. Comunicado técnico. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/566167/adubacao-fosfata-da-para-manutencao-de-pastagem-de-brachiaria-decumbens-no-cerrado>. Acesso em: 12 de mar. 2024.

SOUSA, D. M. G. de; NUNES, R. de S.; REIN, T. A.; SANTOS JÚNIOR, J. de D. G. dos. **Manejo da adubação fosfatada para anuais no cerrado**. Embrapa, circular técnica 33, Planaltina, DF, 2016, p. 1. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/154889/1/CT-33.pdf>. Acesso em: 24 de Set. 2024

VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G. de; MACEDO M. C. M.. **Calagem e adubação para pastagens na região do cerrado**. Embrapa, Planaltina, DF. p. 16, 1998. Circular Técnica N° 37. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/321682>. Acesso em: 12 de mar. 2024.