

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL  
CURSO DE MESTRADO

RESPOSTAS DE FORRAGEIRAS TROPICAIS SUBMETIDAS A DOSES DE CALCÁRIO  
E FÓSFORO

NÉSTOR EDUARDO VILLAMIZAR FRONTADO

CAMPO GRANDE, MS

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL  
CURSO DE MESTRADO

RESPOSTAS DE FORRAGEIRAS TROPICAIS SUBMETIDAS A DOSES DE CALCÁRIO  
E FÓSFORO

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL**  
**CURSO DE MESTRADO**

**RESPOSTAS DE FORRAGEIRAS TROPICAIS SUBMETIDAS A DOSES DE CALCÁRIO  
E FÓSFORO**

*Response of tropical forages submitted to limestone and phosphorus doses*

**Néstor Eduardo Villamizar Frontado**

**Orientador: Dr. Gelson dos Santos Difante**

**Co-orientadores: Dra. Denise Baptaglin Montagner e**

**Dr. Alexandre Romeiro de Araújo**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Área de concentração: Produção Animal

Ficha catalográfica (verso da página de rosto)

Elaborada biblioteca central



Serviço Público Federal  
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



**Certificado de aprovação**

NÉSTOR EDUARDO VILLAMIZAR FRONTADO

**RESPOSTAS DE FORRAGEIRAS TROPICAIS SUBMETIDAS A DOSES DE CALCÁRIO E FÓSFORO  
RESPONSES OF TROPICAL FORAGES SUBMITTED TO LIMESTONE AND PHOSPHORUS LEVELS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal. Área de concentração: Produção Animal.

Aprovado em: 17-02-2023

BANCA EXAMINADORA:

---

Dr. Gelson dos Santos Difante  
(UFMS) – (Presidente)

---

Dr. Alexandre Romeiro de Araujo  
(EMBRAPA)

---

Dra. Denise Baptaglin Montagner  
(EMBRAPA)

---

Dra. Vanessa Zironi Longhini  
(UFMS)



Documento assinado eletronicamente por **Gelson dos Santos Difante**,  
Professor do Magisterio Superior, em 17/02/2023, às 11:50, conforme

horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vanessa Zironi Longhini, Professora do Magistério Superior**, em 17/02/2023, às 19:43, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Romeiro de Araújo, Usuário Externo**, em 22/02/2023, às 14:08, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **DENISE BAPTAGLIN MONTAGNER, Usuário Externo**, em 23/02/2023, às 07:56, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Camila Celeste Brandao Ferreira Itavo, Professora do Magistério Superior**, em 23/02/2023, às 12:47, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufms.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3858939** e o código CRC **1665A134**.

#### COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

## **Dedicatória**

*À minha mãe Hortencia Leczinska Frontado Jimenez e pai Néstor Jesús Villamizar Diaz, pelo apoio durante minha juventude, e exemplo de superação e constância na vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao criador da humanidade, por me encaminhar pelos caminhos e horizontes com sabedoria, por ter me capacitado de força espiritual, disciplina e coragem diante dos desafios enfrentados com humildade e paciência.

Agradeço ao meus pais Néstor Jesus Villamizar Díaz e Hortencia Leczinska Frontado Jimenez, pelo amor blindado, guia, dedicação no meu processo de formação como cidadão. Pelo amor caloroso dado no seio familiar, e por seu exemplo no mundo acadêmico e científico.

Agradeço aos meus irmãos pela dedicação e amor, sendo eu o mais novo, tiveram muita responsabilidade comigo, sendo eles sempre, um exemplo no decorrer na minha vida.

Agradeço aos meus familiares (Villamizar Díaz e Frontado Jimenez) por se tornarem para mim um exemplo de superação e sucesso profissional, com um alto valor de amor, amizade e confraternização. Agradeço essas vivências e sabedorias de familiares que já partiram deste mundo, e que não consegui me despedir deles pelo compromisso, situações e realidades relacionadas com este trabalho, e que sempre levarei no meu coração, obrigado meus queridos (Tia Milagros, avós Lucas Frontado e Petra Jimenez e primo Jose Francisco). Meus primos-irmãos (Jorge, Andrés, Jose Miguel e Andrés Eduardo) pelo grande apoio moral no decorrer deste caminho.

Agradeço ao meu orientador Dr. Gelson do Santos Difante e coorientadora Dra. Denise Baptaglin Montagner, sendo meus primeiros contatos acadêmicos no Brasil, sou muito agradecido pela oportunidade, por me abrir as portas, por acreditar em mim, pela confiança, apoio, e por serem exemplo de profissional que eu precisava para iniciar no mundo da ciência aplicada à pecuária. São, e serão parte de mim em meus futuros caminhos.

Agradeço a meu co-orientador Dr. Alexandre Romeiro de Araújo, pela orientação experimental, pela dedicação, pela motivação no decorrer deste meu primeiro trabalho de pesquisa, pelo conhecimento dado em relação a assuntos de ciência do solo, crescimento e atuação profissional.

Aos meus colegas do GEFOR. Marislaine Gusmão (Llanera), Jessica Rodrigues, Carolina Costa, Gabriela Aquino, Eduardo Weisz, Andrey Miyake, Amanda Silva, Dhayene Cáceres e Juliana Santana, agradeço pela ajuda nas atividades do grupo, e coleta de dados do experimento. Grato.

Com agradecimento especial a Eduardo Weisz, Andrey Miyake, Amanda Silva, que foram meu apoio durante as avaliações nos dois experimentos, e as doutorandas Marislayne Gusmão e Jessica Rodrigues pelo apoio e ajuda indispensável no decorrer do experimento, pela paciência, convivência durante nossa fase de condução experimental.

Aos estagiários que passaram pela Embrapa Gado de Corte, Silvio Neto e Igor Junior, agradeço pela convivência e cuidado.

Agradecimento à Embrapa Gado de Corte, por oferecer o suporte de infraestrutura e material necessário para a execução do experimento. Em especial agradecimento aos pesquisadores Dra. Denise Baptaglin Montagner e Dr. Alexandre Romeiro de Araújo pela colaboração, auxílio, orientação e apoio durante o experimento.

Aos pesquisadores Dr. Manuel Claudio Motta Macedo pelos conselhos, e disponibilização do laboratório de Solos e Nutrição de Plantas, ao Dr. Marcio Martinello pelo apoio, paciência e dedicação e boa vontade nas avaliações das doenças nas plantas forrageiras e ao Dr. Celso Domelas Fernandes pelo apoio literário e assessorias sobre doenças em plantas forrageiras. Grato.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, por meio da faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – FAMEZ, ao programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e a todos os funcionários pela oportunidade e aprimoramento.

A todos os meus professores da pós-graduação por todo o conhecimento e saber científico dado durante minha formação como mestre em ciência animal.

Ao CNPq e CAPES pela concessão das bolsas de estudos na modalidade de mestrado, sendo apoio financeiro indispensável, e assim poder ter dedicação exclusiva ao desenvolvimento deste trabalho.

Agradecimento a todos os envolvidos, que de certa maneira ajudaram no meu caminho na pesquisa e concretização deste trabalho, e aos que não estejam citados aqui por falha na memória.

**OBRIGADO**

## Resumo

FRONTADO, N. E. V. RESPOSTAS DE FORRAGEIRAS TROPICAIS SUBMETIDAS A DOSES DE CALCÁRIO E FÓSFORO. 2023. Dissertação, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2023.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de doses de fósforo e calcário na produção de forragem, características morfogênicas e estruturais de 12 forrageiras de *Panicum maximum* e *Brachiaria* spp. As avaliações foram divididas em dois experimentos em casa de vegetação. O experimento 1 foi conduzido em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 6x5, com seis forrageiras de *Brachiaria* spp. Marandu, Mulato II, BRS Ybaté, Basilisk, HD4 e HD1 e cinco doses de fósforo (P) de 0, 13, 26, 52 e 104 mg dm<sup>-3</sup>, equivalente a doses por hectare de 0, 50, 100, 200 e 400 kg, respectivamente, com quatro repetições. O experimento 2 foi conduzido em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 6x2x5, com seis forrageiras de *Panicum maximum* Tamani, PM422, PM408, Zuri, PM414 e PM406, duas doses de P (P19 e P116 mg dm<sup>-3</sup>) e cinco doses de calcário (0, 326, 653, 1306 e 2612 mg dm<sup>-3</sup>) com três repetições. Os Panicum foram estabelecidos em dois grupos para facilitar o entendimento das respostas, o primeiro de porte baixo (Tamani, PM422 e PM408) e o segundo de porte médio (Zuri, PM414 e PM406). As forrageiras foram agrupadas segundo seus valores semelhantes na altura de crescimento em vasos de cultivares lançados ao mercado BRS Tamani e BRS Zuri. Para avaliação da produção de massa seca (PMS) foram feitos cinco cortes cada 28 dias, exceto o primeiro que foi aos 58 dias após semeadura. As avaliações de morfogêneses como taxa de aparecimento (TApF), taxa de alongamento de folha (TAIF), duração de vida de folha (DVF), taxa de alongamento de colmo (TAIC), comprimento final de folha (CFF) e número de folhas vivas (NFV), foram realizadas cada 21 dias e a densidade populacional de perfilho (DPP) antes de cada corte. Após o último corte as raízes foram lavadas em peneiras, secas e pesadas para determinação da massa seca de raízes (MSR; g vaso<sup>-1</sup> de MS). No experimento 1, a PMS apresentou comportamento linear positivo com o aumento das doses de P (P=0,0001). Maiores TApF e semelhantes em função da forrageira de 0,13 cm perfilho<sup>-1</sup> dia foram observadas no Basilisk, HD4 e HD1 (P<0,0001). Maior TAIF de 4,04 e 3,87 cm perfilho<sup>-1</sup> dia foi observado no BRS Ybaté e Marandu, respectivamente (P=0,0006), as mesmas forrageiras obtiveram maiores valores de CFF (19,72 e 18,46 cm perfilho<sup>-1</sup> dia, respectivamente). Respostas crescentes lineares em função das doses de P foram observados para TAIF, DVF, TAIC, CFF (P<0,0001, P<0,0001, P=0,0003 e P<0,0001, respectivamente) e comportamento quadrático para NFV (P<0,0001). Maior DPP (45 perfilhos) foi observado para HD1 recebendo a dose 104 mg dm<sup>-3</sup> P (P<0,0001). As maiores MSR foram encontradas no Mulato II e Marandu (20 e 21,80 g vaso<sup>-1</sup>, respectivamente) (P=0,0004), entretanto, o Mulato II foi superior a pesar de quantidades bem menores quando comparada a dose mais elevada de P. No experimento 2, para *Panicum maximum* de porte baixo houve aumento da PMS em função da interação fósforo\*calcário (P=0,0384), foi observado resposta linear crescente para doses de calcário associada a P116 mg dm<sup>-3</sup>, com maior valor de 15,08 g vaso<sup>-1</sup> na dose 2612 mg dm<sup>-3</sup> de calcário. O fornecimento de P promoveu alterações na TApF, TAIF e TAIC, maiores valores foram observados no P19. Ao analisar o efeito das forrageiras, maior TApF de 0,11 dia foi para PM422, para TAIF foram maiores valores no PM422 e Tamani (4,11 e 3,79 cm perfilho<sup>-1</sup> dia, respectivamente), e para CFF maiores valores foram observados no PM422 e Tamani (19,12 e 18,00 cm perfilho<sup>-1</sup> dia, respectivamente). Maior DPP na interação fósforo\*calcário de 71,08 perfilhos, foi observado na dose P116 mg dm<sup>-3</sup> associada a 2612 mg dm<sup>-3</sup> calcário, menores valores (média= 23 perfilhos) (P=0,8124) foram observados na dose P19 associada às doses de calcário. Quando foi analisado a interação forrageira\*fósforo, maiores valores de 29,66 e 74,53

perfilhos (P19 e P116 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente) foi notado no PM408. Maior MSR de 27,84 g vaso<sup>-1</sup> foi observada na dose de P116 mg dm<sup>-3</sup>. Para *Panicum maximum* de porte médio houve aumento da PMS em função da forrageira, fósforo e calcário (P=0,0059, P<0,0001 e P<0,0001, respectivamente). Maior PMS em função da forrageira de 11,09 g vaso<sup>-1</sup> foi verificado no Zuri, em função do P maior valor de 15,93 g vaso<sup>-1</sup> foi na dose P116 mg dm<sup>-3</sup>, e para calcário foi verificada resposta quadrática com maiores valores em doses ≥ 653 mg dm<sup>-3</sup> de calcário. Já para TApF e TAIC (P<0,0001 e P=0,0069, respectivamente) o resultado foi inversamente proporcional às doses crescentes de P. As maiores TAlF de 5,26 e 5,04 cm perfilho<sup>-1</sup> dia em função da forrageira, foram observadas no Zuri e PM406, respectivamente. Para CFF foi observado maior valor de 25,38 e 22,70 cm, no Zuri e PM406, respectivamente (P<0,0001). Maior DVF de 59,70 dia foi observado no PM414 (P<0,0001), em função de P maior valor de 56,76 dia foi no P116 mg dm<sup>-3</sup> (P=0,0017). Maior DPP de 31 perfilhos na interação forrageira\*fósforo\*calcário (P=0,0032), foi observado para PM406 recebendo a dose P116, associada a dose 2612 mg dm<sup>-3</sup> de calcário. A maior MSR na interação forrageira\*fósforo de 34,73 g vaso<sup>-1</sup> foi observado para PM406 recebendo a dose P116 (P<0,0001). A adubação fosfatada promove aumentos na produção forragem e massa de raízes em forrageiras de *Brachiaria* spp. e *Panicum maximum*. O Marandu e BRS Ybaté obtiveram maior TAlF e CFF, as variáveis influenciam diretamente a produção de forragem. O Basilisk, HD4 e HD1 foram destaque no perfilhamento. Resultados no experimento 2, comprovam que a aplicação de calcário potencializa a produção de forragem, conforme se aumenta a disponibilidade de fósforo. O PM422 tende a ter maior comprimento da folha. O PM406 parece responder mais a incrementos de fertilidade do solo, e o PM414 tal vez seja mais adaptada a solos com baixa disponibilidade de P., porém, mais estudos em campo, e com pressão de pastejo são necessárias para continuar as avaliações das forrageiras em fase de pré-lançamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Brachiaria*, calcário, fertilização fosfatada, massa seca, morfogênese, *Panicum*.

## Abstract

FRONTADO, N. E. V. RESPONSES OF TROPICAL FORAGES SUBMITTED TO LIME AND PHOSPHORUS DOSES. 2023. Dissertation, Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Federal University of Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2023.

The aim of this study was to evaluate the effect of phosphorus and lime rates on forage production, morphogenetic and structural characteristics of 12 forage plants of *Panicum maximum* and *Brachiaria* spp. The evaluations were divided into two experiments in a greenhouse. Experiment 1 was conducted in a randomized block design in a 6x5 factorial scheme, with six *Brachiaria* spp. Marandu, Mulato II, BRS Ybaté, Basilisk, HD4 and HD1 and five doses of phosphorus (P) of 0, 13, 26, 52 and 104 mg dm<sup>-3</sup>, equivalent to doses per hectare of 0, 50, 100, 200 and 400 kg, respectively, with four repetitions. Experiment 2 was conducted in a randomized block design in a 6x2x5 factorial scheme, with six forage plants of *Panicum maximum* Tamani, PM422, PM408, Zuri, PM414 and PM406, two doses of P (P19 and P116 mg dm<sup>-3</sup>) and five doses of limestone (0, 326, 653, 1306 and 2612 mg dm<sup>-3</sup>) with three replications. The *Panicum* were established in two groups to facilitate the understanding of the answers, the first of small size (Tamani, PM422 and PM408) and the second of medium size (Zuri, PM414 and PM406). The forages were grouped according to their similar values in height of growth in pots of cultivars launched on the market BRS Tamani and BRS Zuri. To evaluate dry mass production (DMP), five cuts were made every 28 days, except the first one, which was 58 days after sowing. Morphogenesis evaluations such as appearance rate (LAR), leaf elongation rate (LER), leaf life span (LLS), stem elongation rate (SER), final leaf length (FLL) and number of leaves live (GNL), were performed every 21 days and the tiller population density (TPD) before each cut. After the last cut, the roots were washed in sieves, dried and weighed to determine the dry mass of roots (DMR; g pot<sup>-1</sup> of DM). In experiment 1, DMP showed a positive linear behavior with increasing doses of P (P=0.0001). Higher LAR and similar in function of forage of 0.13 cm tiller<sup>-1</sup> day were observed in Basilisk, HD4 and HD1 (P<0.0001). Higher LER of 4.04 and 3.87 cm tiller<sup>-1</sup> day was observed in BRS Ybaté and Marandu, respectively (P=0.0006), the same forages had higher values of FLL (19.72 and 18.46 cm tiller<sup>-1</sup> day, respectively). Linear increasing responses as a function of P doses were observed for LER, LLS, SER, FLL (P<0.0001, P<0.0001, P=0.0003 and P<0.0001, respectively) and quadratic behavior for GNL (P<0.0001). Higher TPD (45 tillers) was observed for HD1 receiving 104 mg dm<sup>-3</sup> P (P<0.0001). The highest DMR were found in Mulato II and Marandu (20 and 21.80 g pot<sup>-1</sup>, respectively) (P=0.0004), however, Mulato II was superior despite much smaller amounts when compared to the highest dose of P. In experiment 2, for low-sized *Panicum maximum* there was an increase in DMP due to the phosphorus\*lime interaction (P=0.0384), an increasing linear response was observed for lime doses associated with P116 mg dm<sup>-3</sup>, with a higher value of 15.08 g vase<sup>-1</sup> at the dose of 2612 mg dm<sup>-3</sup> of limestone. The supply of P promoted changes in LAR, LER and SER, higher values were observed in P19. When analyzing the effect of forages, a higher LAR of 0.11 day was for PM422, for LER higher values were for PM422 and Tamani (4.11 and 3.79 cm tiller<sup>-1</sup> day, respectively), and for FLL higher values were observed in PM422 and Tamani (19.12 and 18.00 cm tiller<sup>-1</sup> day, respectively). Higher TPD in the phosphorus\*lime interaction of 71.08 tillers was observed at the dose P116 mg dm<sup>-3</sup> associated with 2612 mg dm<sup>-3</sup> limestone, lower values (mean= 23 tillers) (P=0.8124) were observed at the dose P19 associated with limestone doses. When the forage\*phosphorus interaction was analyzed, higher values of 29.66 and 74.53 tillers (P19 and P116 mg dm<sup>-3</sup>, respectively) were observed in PM408. Higher DMR of 27.84 g pot<sup>-1</sup> was observed at the dose of P116 mg dm<sup>-3</sup>. For medium-sized *Panicum maximum*, there was an

increase in DMP due to forage, phosphorus and limestone ( $P=0.0059$ ,  $P<0.0001$  and  $P<0.0001$ , respectively). Higher DMP as a function of forage of  $11.09 \text{ g pot}^{-1}$  was verified in Zuri, as a function of P the highest value of  $15.93 \text{ g pot}^{-1}$  was at the dose  $P116 \text{ mg dm}^{-3}$ , and for limestone a quadratic response was verified with higher values at doses  $\geq 653 \text{ mg dm}^{-3}$  of limestone. As for LAR and SER ( $P<0.0001$  and  $P=0.0069$ , respectively) the result was inversely proportional to the increasing P doses. Forage, were observed in Zuri and PM406, respectively. For FLL, a higher value of 25.38 and 22.70 cm was observed in Zuri and PM406, respectively ( $P<0.0001$ ). The highest LLS of 59.70 days was observed in PM414 ( $P<0.0001$ ), as a function of P, the highest value of 56.76 days was observed in  $P116 \text{ mg dm}^{-3}$  ( $P=0.0017$ ). The highest TPD of 31 tillers in the forage\*phosphorus\*limestone interaction ( $P=0.0032$ ) was observed for PM406 receiving the  $P116$  dose, associated with a dose of  $2612 \text{ mg dm}^{-3}$  of limestone. The highest DMR in the forage\*phosphorus interaction of  $34.73 \text{ g pot}^{-1}$  was observed for PM406 receiving the  $P116$  dose ( $P<0.0001$ ). Phosphate fertilization promotes increases in forage production and root mass in *Brachiaria* spp. and *Panicum maximum*. Marandu and BRS Ybaté had higher LER and FLL, the variables directly influencing forage production. Basilisk, HD4 and HD1 were highlighted in the tillering. Results in experiment 2 prove that the application of lime enhances forage production, as phosphorus availability increases. PM422 tends to have longer sheet length. PM406 seems to respond more to soil fertility increments, and PM414 is perhaps more adapted to soils with low P availability. However, more studies in the field, and with grazing pressure, are needed to continue evaluations of forages in the phase pre-release.

**KEYWORDS:** *Brachiaria*, limestone, phosphate fertilization, dry mass, morphogenesis, *Panicum*.

## Lista de Figuras

### Artigo 1:

**Adução fosfatada no estabelecimento garante aumentos na produção acima e abaixo do solo em forrageiras do gênero *Brachiaria* spp.**.....34

Figura 1	Produção de massa seca das forrageiras em função de doses de P.....	39
Figura 2	Resposta de produção de forragem em função de doses de P de forrageiras de <i>Brachiaria</i> spp.....	40
Figura 3	Características morfogênicas e estruturais de <i>Brachiaria</i> spp. em função de doses de P.....	42
Figura 4	Resposta de massa de raízes em função de doses de P de forrageiras de <i>Brachiaria</i> spp.....	46
Figura 5	Eficiência do uso de fósforo de <i>Brachiaria</i> spp. em função das doses de P.....	47

### Artigo 2

**Produção, morfogênese e raízes de *Panicum maximum* sob doses de fósforo e calcário**.....53

Figura 1	Produção de massa seca em função da interação fósforo*calcário em <i>Panicum maximum</i> de porte baixo.....	60
Figura 2	Resposta de produção de forragem em função da interação fósforo*calcário em <i>Panicum maximum</i> de porte baixo.....	61
Figura 3	Duração de vida das folhas em função de doses de calcário em <i>Panicum maximum</i> .....	63
Figura 4	Interação fósforo*calcário sobre DPP em <i>Panicum maximum</i> de porte baixo.....	65

Figura 5	Produção de massa seca de <i>Panicum maximum</i> porte médio em função de doses de calcário.....	68
Figura 6	Massa seca de raízes em função da interação forrageira*fósforo de <i>Panicum maximum</i> de porte médio.....	70

## Lista de Tabelas

### Artigo 1:

	<b>Adubação fosfatada no estabelecimento garante aumentos na produção acima e abaixo do solo em forrageiras do gênero <i>Brachiaria</i> spp.....</b>	<b>34</b>
--	--	-----------

Tabela 1	Características químicas do solo em cada tratamento antes da semeadura.....	36
Tabela 2	Características químicas do solo em cada tratamento no final do experimento.....	41
Tabela 3	Características morfológicas e estruturais em função da forrageira .....	43
Tabela 4	Densidade populacional de perfilhos em função da interação forrageira*doses de P.....	44
Tabela 5	Massa seca de raízes em função da interação forrageira*doses de P .....	45

### Artigo 2:

	<b>Produção, morfogênese e raízes de <i>Panicum maximum</i> sob doses de fósforo e calcário.....</b>	<b>53</b>
--	--	-----------

Tabela 1	Características químicas do solo em cada tratamento antes da semeadura.....	56
Tabela 2	Significância das variáveis em <i>Panicum maximum</i> de porte baixo.....	59
Tabela 3	Características químicas do solo no final do experimento.....	60

Tabela 4	Taxa de alongamento da folha, taxa de aparecimento da folha e comprimento final da folha em <i>Panicum maximum</i> de porte baixo em função da forrageira.....	62
Tabela 5	Interação forrageira*fósforo sobre número de folhas vivas, duração de vida da folha, filocrono e densidade populacional de perfilho em <i>Panicum maximum</i> de porte baixo.....	64
Tabela 6	Taxa de aparecimento de folha, taxa de alongamento de folha, taxa de alongamento do colmo e massa seca de raízes de <i>Panicum maximum</i> porte baixo em função do P.....	65
Tabela 7	Significância das variáveis em <i>Panicum maximum</i> de porte médio.....	66
Tabela 8	Produção de massa seca, taxa de alongamento de folha, duração de vida da folha e comprimento final da folha de <i>Panicum maximum</i> de porte médio em função da forrageira.....	66
Tabela 9	Produção de massa seca, taxa de aparecimento da folha, duração de vida da folha, filocrono, taxa de alongamento de colmo de <i>Panicum maximum</i> de porte médio em função das doses de P.....	67
Tabela 10	Interação forrageira*fósforo sobre número de folha vivas e massa seca de raízes de <i>Panicum maximum</i> de porte médio.....	69
Tabela 11	Interação forrageira*fósforo*calcário sobre densidade populacional de perfilhos de <i>Panicum maximum</i> de porte médio.....	71

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	19
REVISÃO DE LITERATURA .....	21
1.1 Descrição dos <i>Panicum maximum</i> .....	21
1.2 Descrição das <i>Brachiaria</i> spp.....	22
1.3 Fósforo no solo .....	24
1.4 Calcário nas forrageiras .....	25
1.5 Fósforo na produção, morfogênese e estrutura do pasto.....	26
REFERÊNCIAS .....	30

### Artigo 1

<b>Adubação fosfatada no estabelecimento garante aumentos na produção acima e abaixo do solo em forrageiras do gênero <i>Brachiaria</i> spp.....</b>	<b>34</b>
Resumo .....	34
1. INTRODUÇÃO .....	35
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	36
2.1 Local e experimento .....	36
2.2 Delineamento experimental .....	37
2.3 Avaliações .....	37
2.3.1 Produção de forragem.....	37
2.3.2 Variáveis morfogênicas e estruturais.....	37
2.3.3 Densidade populacional de perfilhos .....	38
2.3.4 Massa seca de raízes.....	38
2.3.5 Eficiência do uso de fósforo.....	38
2.4 Análise estatística .....	39
3. RESULTADOS.....	39
4. DISCUSSÃO .....	47
5. CONCLUSÃO .....	49
6. AGRADECIMENTOS.....	50
REFERÊNCIAS .....	51

### Artigo 2

<b>Produção, morfogênese e raízes de <i>Panicum maximum</i> sob doses de fósforo e calcário.....</b>	<b>53</b>
--	-----------

Resumo.....	53
1. INTRODUÇÃO .....	55
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	56
2.1 Local e período experimental .....	56
2.2 Delineamento experimental.....	57
2.3 Avaliações.....	57
2.3.1 Produção de forragem.....	57
2.3.2 Características morfogênicas e estruturais.....	57
2.3.3 Densidade populacional de perfilhos .....	58
2.3.4 Massa seca de raízes.....	58
2.4 Análise estatística.....	59
3 RESULTADOS .....	59
3.1 <i>Panicum maximum</i> de porte baixo.....	59
3.2 <i>Panicum maximum</i> de porte médio.....	66
4. DISCUSSÃO .....	72
4.1 <i>Panicum maximum</i> de porte baixo .....	72
4.2 <i>Panicum maximum</i> de porte médio .....	73
5. CONCLUSÃO .....	74
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	75
7. AGRADECIMENTOS.....	76
REFERÊNCIAS .....	77

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países líderes na atividade pecuária, com cerca de 195 milhões de cabeças. A maior parte dos sistemas de produção é conduzida em pasto, em aproximadamente 158 milhões de hectares (IBGE, 2022). Os solos do Cerrado brasileiro, de forma geral, apresentam baixa disponibilidade de fósforo (P), sendo um dos maiores problemas para o estabelecimento e manutenção de pastagens. O baixo nível de P disponível associada à alta capacidade de adsorção dos solo, em consequência de sua acidez e teores elevados de óxidos de ferro e alumínio (LOBATO, 1994), promove a necessidade de fornecimento de fósforo nas adubações (FARIA et al., 2015) que, aliada ao emprego da calagem favorece a disponibilidade do P aplicado ao solo (SANZONOWICZ; GOEDERT, 1986).

O fósforo promove o desenvolvimento radicular, aumenta a taxa de crescimento inicial e o perfilhamento, e, no estabelecimento, sua deficiência limita a produtividade da planta forrageira (DUARTE et al., 2016). A deficiência ou ausência do P gera um desequilíbrio ou prejuízo à função conjunta dos nutrientes (HEINRICHS et al., 2016). Sua participação é de grande importância na formação de adenosina trifosfato (ATP), responsável pelas reações de transporte de energia na planta, mitoses, aumento na quantidade de células e transferência genéticas. Em razão disso, tem alta influência no desenvolvimento da forrageira, no qual associado com nitrogênio e potássio, torna-se fundamental para as raízes e perfilhamento das plantas (DIAS-FILHO, 2014).

Portanto, é necessário buscar conhecimento sobre o comportamento de novas cultivares forrageiras frente a esse importante nutriente (P), escasso em diferentes regiões tropicais, e que pode ser um dos caminhos para o sucesso dos sistemas de produção animal em pasto. O uso de fontes solúveis de fósforo nos primeiros dias de vida da planta, torna seu fornecimento prioritário pois, as exigências nutricionais da forrageira são maiores nessa etapa (DIAS-FILHO, 2012). Em vista disso, linhas de pesquisa para encontrar potencialidades genéticas em forrageiras para a eficiência na utilização dos nutrientes, tem sido fundamentais (ZHANG et al., 2020).

A pesquisa em plantas forrageiras, implica o melhoramento e desenvolvimento de cultivares mais produtivas e de melhor valor nutritivo. A Embrapa contém vários destes programas, sendo a Embrapa Gado de Corte a que dispõe a partir da década de 1980, programas de melhoramento de *Brachiaria* spp. e *Panicum maximum* (CHIARI et al., 2007). Novas cultivares em condição de pré-lançamento devem ser avaliadas para ocorrência de pragas e doenças, fertilidade do solo, nutrição de plantas e manejo do pastejo nos diferentes solos e

sistema de produção animal brasileiros. O melhoramento de forrageiras visa, como primeira característica a produção forrageira, por ser a de mais fácil mensuração (JANK et al., 2017). As avaliações sobre respostas ao fornecimento de P e calcário é uma, das muitas avaliações de forrageiras tropicais na fase de pré-lançamento.

O melhoramento e diversificação das pastagens visa no uso de forrageiras mais produtivas e de melhor qualidade, o que implica metodologias e ferramentas de melhoramento, dinâmicas e de transferência tecnológica eficientes, resultando em uma melhor produção de carne e leite a pasto (JANK et al., 2014). Práticas de manejo adequadas e adubações estratégicas em pastagens propiciaram a substituição das forrageiras nativas, por cultivares do tipo C<sub>4</sub> que apresentam alto potencial para acúmulo de forragem, notadamente espécies dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* (EUCLIDES et al., 2018). Esse grupo de plantas integram cultivares com excelentes possibilidades para diversificação das pastagens tropicais (VERAS et al., 2020).

A Embrapa tem desenvolvido desde a década de 1980, diversos programas de melhoramento de forrageiras tropicais e de clima temperado, visando o aumento da produtividade animal, sendo disponibilizadas muitas cultivares ao mercado. Estas e outras tecnologias levaram o Brasil a figurar entre os primeiros no mundo em tamanho do rebanho comercial, produção e exportação de carne bovina (JANK et al., 2014). Além da variabilidade genética e tecnológica para realizar o melhoramento, as possibilidades de geração de novas combinações são infinitas (JANK et al., 2017). Os critérios de seleção são complexos, e por méritos, dependendo da relação solo-planta-animal, o conhecimento das exigências nutricionais tanto em plantas como animais, comportamento animal em pastejo e características morfológicas e fisiológicas, proporcionam o entendimento como estratégia para o uso e seleção de plantas forrageiras (EUCLIDES; EUCLIDES FILHO, 1998). A espécie *Panicum maximum* engloba as forrageiras mais produtivas propagadas por sementes no comércio brasileiro e países da região sul-americana. O uso de forrageiras do gênero *Brachiaria* spp. tem grande importância no desenvolvimento pecuário no Brasil, constituindo ao redor de 100 espécies, sendo as principais espécies *B. brizantha*; *B. humidicola* e *B. ruziziensis* e com relevância econômica no continente (JANK; SANTOS; BRAGA, 2022). O aumento da produção de forragem pode ser explicado, por meio do estudo do fluxo de tecido (morfogênese). O fluxo de tecidos é um instrumento auxiliar para entender o processo de crescimento, desenvolvimento e perfilhamento das plantas forrageiras quando são fertilizadas (NETO et al., 2020). Neste trabalho, foram avaliadas plantas forrageiras em fase de pré-lançamento do gênero *Brachiaria* spp. e *Panicum maximum*, objetivando apresentar resultados das respostas de produção de forragem e massa de raiz em função da fertilização com fósforo e calcário.

## REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1 Descrição dos *Panicum maximum*

A espécie *Panicum maximum* é originária da África Tropical, cujo centro está no leste do continente, as primeiras coletas foram realizadas por pesquisadores franceses do centro de ORSTOM em 1967 e 1969 (COMBES; PERNÉS, 1970). Os primeiros ecótipos no Brasil com introduções planejadas foram no ano 1976, no Centro Nacional de Pesquisa Gado de Corte CNPGC (Embrapa Gado de Corte) pelo Dr. Armando Teixeira Primo pelo convênio institucional entre a EMBRAPA e ORSTOM. O CNPGC recebeu em 1983 boa parte da coleção francesa. Ao longo dos anos, muitas variedades e cultivares têm sido introduzidos no Brasil.

Os *Panicum maximum* são gramíneas perenes, robusta, entouceirada, de 1 - 2 metros de altura, folhas longas, finas e estreitas em alguns casos, superfície lisa com inflorescência em forma de panículas. As forrageiras podem ser classificadas pelo porte (altura da planta), sendo estabelecidos três portes, baixo (<1,10 cm), médio (0,64-1,23 cm) e alto (>1,25 cm). O BRS Zuri foi lançado em 2014, é classificado como cultivar de porte médio/alto (JANK; SANTOS; BRAGA, 2022), possui uma produção de massa seca entre 12 a 23 ton MS ha<sup>-1</sup> ano, com altura de 1,10 a 1,50 m em crescimento livre, e altura de 74,77 cm crescimento em vaso de 2,55 dm<sup>-3</sup> (dados deste trabalho em casa de vegetação, não publicados), comprimento da lâmina folhar de 61,1 cm (longa), e largura de 34 a 47 mm (larga), diâmetro do colmo de 5,8 mm (Grosso), perfilhamento basal de médio/alto, e época de florescimento no mês de abril. Possui uma produção de matéria seca foliar (MSF) anual de 13,2 t ha<sup>-1</sup>. A cultivar é bastante tolerante ao encharcamento temporário do solo em estudos realizados no Acre, é destaque na produção de forragem quando comparado com cultivares de *Brachiaria*. É uma cultivar exigente em fertilidade e baixa a moderada tolerância a acidez do solo, com boa adaptação aos biomas Cerrado e Amazônia. Possui alto grau de resistência à mancha das folhas causada pelo fungo *Bipolaris maidys*, quando comparado com o BRS Tanzânia-1 (suscetível) e média resistência por tolerância as cigarrinhas das pastagens. Os genótipos PM414 e PM406 são *Panicum maximum* em fase de pré-lançamento na Embrapa gado de corte e ainda estão sendo avaliados em relação às características morfológicas, agronômicas, adaptação à drenagem e fertilidade do solo, resistência a pragas e doenças, sendo poucos os dados sobre a caracterização. Porém, o PM414 e PM406 apresentam uma altura de 65,92 e 66,41 cm de crescimento em vaso (dados não publicados).

O BRS Tamani foi lançado em 2015 pela Embrapa em parceria com Unipasto, é um híbrido de *Panicum maximum* classificada como porte baixo (JANK; SANTOS, 2021), de fácil

manejo e produção de massa seca entre 11 a 17 ton MS ha<sup>-1</sup> ano. Com altura de 0,65 a 1,10 em crescimento livre, e altura de 30,67 cm crescimento em vaso de 2,55 dm<sup>-3</sup> (dados deste trabalho, não publicados), comprimento da lâmina foliar de 47,9 cm (média), e largura de 1,5 a 1,7 cm (estreita-média), arqueadas, baixa pilosidade folhar e com inflorescência em forma de panícula e época de florescimento precoce, a partir de fevereiro. Colmos finos, com internódio de comprimento curto e não apresentam serosidade, a cultivar apresenta alto perfilhamento basal. A cultivar é indicada para uso em solos bem drenados, e intolerante ao encharcamento do solo em estudos realizados no Acre, possui exigência em fertilidade de média-alta com tolerância a acidez do solo de baixa a moderada. Resistência intermediária para o fungo *Bipolaris maydis*, e alta resistência para *Johnsongrass mosaic virus*. Possui tolerância intermédia à cigarrinha *Notozulia entreriana*, e baixa a *Mahanarva spectabilis*. Os genótipos PM422 e PM408 são *Panicum maximum* em fase de pré-lançamento na Embrapa gado de corte, e ainda estão sendo avaliados em relação às características morfológicas, agronômicas, adaptação à drenagem e fertilidade do solo, resistência a pragas e doenças, sendo poucos os dados sobre a caracterização. Porém, o PM422 e PM408 apresentam uma altura de 31,71 e 27,39 cm de crescimento em vaso (dados não publicados).

## 1.2 Descrição das *Brachiaria* spp.

Os capins do gênero *Brachiaria*, cerca de 90 espécies, têm distribuição marcadamente na região tropical, tendo como centro de origem primário a África equatorial. Conhecida como forrageira desde a década de 1950. Comumente utilizadas em pastagens na América Tropical, nas fases de cria, recria e engorda dos animais. Forrageiras do gênero *Brachiaria* spp. também proporcionam respostas crescentes na produção de forragem durante o período de estabelecimento do pasto à adubação fosfatada (LOPES et al., 2011). A *Brachiaria brizantha* cv. Marandu vem sendo estudada pela Embrapa Gado de Corte e Cerrados, desde 1977 e 1979, respectivamente, sendo por mais de 30 anos o mais produtivo e o mais plantado, com alta resposta de produção de forragem quando adubado com P. É uma planta cespitosa, muito robusta, com produção entre 8 a 20 ton MS ha<sup>-1</sup> ano. Com altura de 53 cm em crescimento livre e altura em crescimento em vaso de 35,16 cm (dados deste trabalho, não publicados). Folhas arqueadas, comprimento da lâmina médio, e largura de 1,9 cm com baixa pilosidade na lâmina da folha e alta na bainha, possui intensidade média no perfilhamento basal, colmo grosso (4,7 mm), comprimento do internódio de 11,5 a 12,5 cm, com inflorescência em forma de rácemo e época de florescimento em março. A cultivar Marandu é adaptada à região dos Cerrados com exigência média em fertilidade do solo, alta responsiva à adubação, média tolerância a acidez

do solo e a seca, baixa tolerância a solos com mal drenagem. Possui alta resistência às cigarrinhas típicas das pastagens, baixa a doenças foliares (Mela das folhas – *Rhizoctonia solani*) e média (Brusone – *Pyricularia grisea*).

O híbrido Mulato II é o resultado de mais de 20 anos de estudos de cruzamentos e seleção realizadas pelo Projeto de Forragem Tropicais do CIAT, Cali, Colombia. A partir de cruzes interespecíficos entre *Brachiaria ruziziensis* x *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilisk com produção de 19 ton ha<sup>-1</sup> MS ano. O Mulato II possui uma altura de 1 m em crescimento livre, e crescimento de 31,70 cm em vaso (dados deste trabalho, não publicados). Hábito de crescimento semidecumbente capazes de enraizar quando entram em contato com o solo, porém, é menos decumbente e de menor altura que seu similar ao cv. Mulato. Folhas lanceoladas com largura de 3,8 cm e alta pilosidade folhar. Inflorescência em forma de rácemo. O cultivar tem alta adaptação a solos de baixa fertilidade com alto conteúdo de Al<sup>+3</sup> como os Oxisoles (Latosolo) dos Llanos centrais da Colombia, possui alta tolerância períodos prolongados de seca de até 6 meses e responsiva à adubação, principalmente nitrogênio (N). Alta resistência às cigarrinhas das pastagens (*Aeneolamia reducta*, *A. varia*, *Zulia carbonária*, *Z. pubescens*, *Prosapia simulans* e *Mahanarva trifissa*), e baixa resistência à macha foliar originada pelo fungo *Rhizoctonia solani* (ARGEL et al., 2007).

A *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk originaria de Uganda, África e introduzida no Brasil na década de 1950. Com produção entre 10 a 15 ton MS ha<sup>-1</sup> ano. O Basilisk possui uma altura de 43 cm em crescimento livre, e crescimento de 40,13 cm em vaso (dados deste trabalho, não publicados). Hábito de crescimento decumbente, comprimento da lâmina foliar curta e largura de 1,4 cm, de média/alta pilosidade na folha, inflorescência em forma de rácemo e florescimento precoce (dezembro). Baixa/média exigência em fertilidade, de média/alta responsividade à adubação, alta tolerância a acidez do solo e a seca, baixa tolerância ao frio e solos com mal drenagem. Resistência às cigarrinhas típicas das pastagens muito baixa (VALÉRIO, 2009) e alta resistência a doenças foliares. BRS Ybaté, HD4 e HD1 são *Brachiaria* em fase de pré-lançamento na Embrapa Gado de Corte, e ainda estão sendo avaliados em diferentes etapas, os dados sobre sua caracterização são poucos, ainda assim, neste trabalho apresentam uma altura de 41,06, 46,40 e 42,67 cm de crescimento em vaso (BRS Ybaté, HD4 e HD1, respectivamente) (dados não publicados).

### 1.3 Fósforo no solo

O P é um dos elementos essenciais para as plantas e animais. Em solos altamente intemperizados a disponibilidade de P pode ser muito baixa, necessitando aplicação antrópica por meio de fertilizantes (NOVAIS; SMYTH, 1999). O P contido no material de origem encontra-se na forma mineral, sendo que as apatitas (fosfatos de cálcio) são os minerais primários mais comuns (FROSSARD et al., 1995).

Um problema recorrente no estabelecimento e manutenção de pastagens nos solos brasileiros, é o nível baixo de P disponível associada à alta capacidade de retenção do P (Adsorção). O fenômeno de retenção de P pelo solo foi estudado por Tomas Way em 1850, fenômeno conhecido há mais de 150 anos (NOVAIS; SMYTH, 1999). As condições de reação ácida a moderadamente ácida, os óxidos de ferro e alumínio apresentam-se com cargas positivas, portanto, capazes de reter em sua superfície vários tipos de ânions, esse fenômeno é conhecido como adsorção específica (VAN RAIJ et al., 1997). No entanto, o P no solo pode ainda ser encontrado nas seguintes condições: a) P fixado: encontra-se na forma inorgânica e está fortemente adsorvido ao solo, geralmente ligado ao Al, Fe e Ca dos minerais de argila; b) P disponível: encontra-se na forma inorgânica, é disponível às plantas e está fracamente adsorvido ou presente na solução do solo; c) P solúvel: encontram-se na forma inorgânica, é disponível às plantas e está nas formas  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ; d) P orgânico: refere-se ao P ligado aos compostos orgânicos, como ácidos nucleicos, fosfolipídios, etc.(VAN RAIJ et al., 1997).

Dentro dos macronutrientes, o P é o menos exigido pelas forrageiras, a baixa disponibilidade do nutriente nos solos do Brasil e, também, a forte tendência do fósforo aplicado ao solo de reagir com outros elementos para formar compostos de baixa solubilidade (Adsorção do fósforo). Se faz necessário aplicar maiores quantidades do que aquela exigida pelas plantas forrageiras pois, torna-se necessário satisfazer a exigência do solo, saturando os componentes responsáveis pela fixação do fósforo (NETO et al., 2001).

Cabral et al. (2021), recomendam que durante o processo da adubação de áreas para formação e manutenção de pastagem faz-se necessário a utilização de P, fundamentalmente se a análise preliminar do solo demonstra teores baixos do nutriente. Sendo que, para a condição de elevada escassez do nutriente a quantidade a ser aplicada ao solo pode alcançar até 200 kg  $\text{ha}^{-1}$  de P.

#### 1.4 Calcário nas forrageiras

Estudos pioneiros sobre o uso de calcário em pastagens no Brasil datam da década de 1970, relacionando-se a maioria com experimentos desenvolvidos em vasos (MARTHA JÚNIOR; VILELA; GOMES, 2007). Em sistemas de produção animal em pasto, a manutenção e sustentabilidade da capacidade produtiva das forrageiras, tem sido uma das linhas de atuação das instituições de pesquisa, gerando desafios pela grande variabilidade espacial dos solos e climas brasileiros (ANDRADE, 2010). Os solos brasileiros possuem elevada acidez, sendo a calagem uma ferramenta de manejo agrônômica comumente utilizada no Brasil, além disso, seu uso em pastagens tropicais origina uma ampla discussão em relação às recomendações dos níveis ou faixas de saturação por bases que adotam limites diferentes para as espécies e cultivares (MACEDO, 2004). Nesse contexto, o conhecimento do comportamento histórico é fundamental para a condução de experimentos de curta duração com o intuito de satisfazer a demanda de informação na utilização de adubação de manutenção ou calagem e a sustentabilidade das pastagens (MACEDO, 2005).

Dentro do manejo de solos ácidos a calagem é uma das práticas mais importantes, sendo que seu uso tem importantes contribuições nos atributos químicos do solo, como melhorias no equilíbrio e disponibilidade de bases, diminuição de íons  $H^+$ , diminuição de toxicidades (Al, Fe e Mn), além de efeitos benéficos sobre a biota no solo, nas características físicas, melhorando a estrutura dos solos, a aeração e infiltração de água (COSTA et al., 2008).

Estudos de MITIDIARI et al. (1995) utilizando cultivares do *P. maximum*. Vencedor, Centenário, Colônia IZ-1; *B. brizantha* cv. Marandu e *A. gayanus* cv. Planaltina submetidos a níveis de calcário (2,41; 4,83 e 7,25 t ha<sup>-1</sup>) em solo com características físicas e químicas de solo sob vegetação de Cerrado em casa de vegetação, comprovaram que elevação dos níveis de calcário proporcionaram aumentos do pH, teores de P,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , soma de bases e saturação por bases (V%) e diminuição nos teores de  $K^+$ , acidez potencial (H+Al) e alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) no solo, 40 dias após a calagem. Porém não houve aumentos significativos para MS com o aumento dos níveis de calcário.

POSSAMAI et al. (2014) mencionam que o calcário é corretivo mais utilizado para a acidez no solo, a escolha do tipo de calcário e a quantidade a aplicar deve ser suportada pela análise do solo e exigência da forrageira. Costa et al. (2012) avaliando respostas em *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés sobre o efeito da calagem em vasos, de 0, 800, 1600, 2400 e 3200 kg ha<sup>-1</sup> de calcário, verificaram efeito quadrático para MS após 5 corte acumulados. Já para Luz et al.

(2000) utilizando *Panicum maximum* cv. Tobiata não observaram aumentos na produção massa seca quando foi aplicado diferentes fontes e doses de calcário após 6 cortes. Já Volpe et al. (2008), verificaram diferenças expressivas no aumento de MS de 5,50 kg ha<sup>-1</sup> quando apenas foi aplicado calcário, e quando forneceram fertilizantes junto com a calagem os resultados ficaram entre 9,80 e 12,40 kg ha<sup>-1</sup> de MS. Estes experimentos demonstraram que o uso de fertilizantes aumentam notavelmente a produção de forragem, e que a calagem de forma isolada pouco melhora a produtividade.

O uso de calcário independentemente da espécie forrageira para correção da acidez traz benefício para características químicas e físicas do solo, limitando as perdas por lixiviação, fornecendo Ca e Mg, e por consequência melhora do perfil do solo e qualidade da forrageira, tendo aumento na absorção dos nutrientes pelas raízes. Solos ácidos e com presença de alumínio são condições que mais limitam a produtividade e a qualidade nutricional das culturas pois, nesse contexto é limitado o alongamento de raízes, decorrendo baixa absorção de água e nutrientes (GONÇALVES et al., 2017). Diversos trabalhos sobre correção e adubação demonstraram, de forma geral, que o uso de calcário possui efeito potencializador para o fósforo e nitrogênio, seus níveis são dependentes das características edafoclimáticas e do manejo (DIAS et al., 2015).

### **1.5 Fósforo na produção, morfogênese e estrutura do pasto**

A baixa disponibilidade de fósforo no solo exige um mecanismo de absorção muito eficiente. As plantas forrageiras adquirem fósforo contra um elevado gradiente de concentração, sendo ele maior no interior das células vegetais que na solução do solo (RAGHOTHAMA, 2000).

Depois de ser absorvido o P possui diferentes destinos dentro das forrageiras (FERNANDES; SOUZA; SANTOS, 2018): a) sendo utilizado no metabolismo (citoplasma celular e organelas, para formar ATP); b) uma pequena fração ingressa nas vias biosintéticas de fosfolípidos, DNA, RNA etc.; c) parte é perdida por efluxo, dependendo das condições; d) influxo e armazenamento de P no vacúolo para regulação homeostática da célula; e e) é transportado até o parênquima do xilema e depois liberado para transporte a longa distância dentro da planta.

O fósforo possui uma estreita inter-relação com os solos de clima tropical e sua importância no acréscimo da produção de forragem, indicam a exigência do uso eficiente de fósforo para alcançar uma produção sustentável (ARAÚJO; SAMPAIO; DE MEDEIROS,

2005). Depois do nitrogênio, o fósforo é um dos nutrientes que mais limita a produção de massa verde quando está ausente (FOLONI et al., 2008). Desse modo, a ausência do nutriente pode ser prejudicial apresentando anormalidades de crescimento, desenvolvimento ou reprodução, (PRADO; VALE, 2008). Deficiências de fósforo no solo implicam em reduções significativas no desempenho produtivo e na qualidade da forragem (COSTA et al., 2009).

Segundo Cecato et al. (2007) e Duarte et al. (2016) a ausência de fertilização fosfatada ou deficiência deste nutriente pode condicionar à planta a usar o P disponível somente para a manutenção, tendo como consequência a paralisação da emissão de perfilhos e novas folhas, comprometendo seu desenvolvimento e produção.

A morfogênese das plantas pode ser delineada como a ação progressiva de gerações e sua expansão no tempo e no espaço (CHAPMAN; LEMAIRE, 1993), e pode ser contextualizada em termos de taxa de expansão e senescência destes novos órgãos. Para definir o crescimento e desenvolvimento das plantas forrageiras tropicais, a morfogênese pode ser descrita por três variáveis: taxa de aparecimento, taxa de alongamento e a duração de vida das folhas. Apesar de ter vínculo com aspectos gênicos, estas variáveis são condicionadas por fatores como temperatura, luz, água, fertilidade de solo (ambientais) e práticas manejos estratégicos. Os resultados dessas interações determinam as características estruturais, como número de folhas perfilho<sup>-1</sup> (NFV), tamanho médio de folhas (TMF) e densidade populacional de perfilhos (DPP), determinando assim, o índice de área foliar (IAF) (LEMAIRE et al., 2000).

No desenvolvimento e manejo de pastagens cultivadas nos trópicos, é fundamental o estabelecimento de práticas adequadas de adubação. Sendo importante os conhecimentos de fatores nutricionais para a manutenção dos pastos. O nutriente P está diretamente ligado ao crescimento da forrageira e possui importância nas reações fotossintéticas e no metabolismo do carbono (SOUZA et al., 2020). Forrageiras da espécie *Panicum maximum* respondem com incrementos na produção de forragem em virtude da adubação fosfatada (OLIVERIA et al., 2017; COSTA; TOWNSEND; MAGALHÃES, 2015), sendo frequente na espécie elevada resposta à fertilização com fósforo (GHERI et al., 2000).

Rezende et al. (2011), observaram respostas da adubação de P no plantio e em cobertura sobre o número e tamanho de perfilhos, taxa de crescimento radicular e produção de MS aérea em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, avaliando 100%, 50%, 25% e 0% de P no plantio e o restante aplicado em cobertura. Foram verificados aumentos na produção de MS, perfilhamento e melhora na qualidade do dossel forrageiro quando a adubação com fósforo foi aplicada 100%

no plantio. Apesar disso, os requerimentos do P podem ter uma ampla variabilidade pois, irá depender da espécie forrageira considerando previamente um análise de solo para conhecer a disponibilidade do P no solo (POSSAMAI et al., 2014).

Heinrichs et al. (2016), Gramíneas de elevada exigência em nutrientes podem requerer doses de fósforo de até 200 kg ha<sup>-1</sup> em solos com teores muito baixos. Resultados utilizando capim-mombaça sob três doses de P (0, 150, 300 mg kg<sup>-1</sup>) e três doses de N (0, 250 e 500 mg kg<sup>-1</sup>) verificaram maior resposta (54 g vaso<sup>-1</sup>) para massa seca na interação de P x N (179,2 e 289,6 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente). Para DPP observou-se maior valor de 32 perfilhos vaso<sup>-1</sup> na interação de P x N (197,3 e 280,9 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente).

Portanto, trabalhos sobre dinâmica do crescimento de folhas e perfilhamento em forrageiras perenes são necessários no momento de estabelecer estratégias de manejo para cada espécie de gramíneas forrageiras (COSTA et al., 2009). Considera-se como característica principal a taxa de aparecimento de folhas, visto que condicionam aspectos estruturais das plantas forrageiras (DIFANTE et al., 2011). Notadamente, o P desempenha papel importante em processos coordenados pelas atividades meristemáticas da planta, no desenvolvimento do sistema radicular e no perfilhamento das gramíneas (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996).

De acordo com Nunes (2016), utilizando doses crescentes de fósforo (0, 30, 60, 120, 150 180 e 210 kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) sob *B. humidicola* cv. Comum em dois tipos de solo (Latosolo Amarelo e Gleissolo Háptico) comprovaram que a adubação fosfatada promoveu positivamente a taxa de alongamento de aparecimento (TApF), taxa de alongamento de colmo (TAIC), taxa alongamento de folha (TAIF), taxa de senescência de folha (TAsF), comprimento final de folha (CFF), filocrono (FIL), duração de vida de folha (DVF), número de folhas vivas (NFV) e densidade populacional de perfilho (DPP) em ambos solos. Ensaio com cultivares de *Panicum maximum* em casa de vegetação, usando 5 doses de P (0, 5, 10, 30 e 45 mg dm<sup>-3</sup>) de superfosfato simples, observaram melhor desenvolvimento e produção de MS em todas as cultivares, quando foi utilizada a doses de 25 mg dm<sup>-3</sup>P (TORRES et al., 2016). Segundo Carneiro et al. (2017), o uso de fertilizantes fosfatados proporcionam maior perfilhamento, produção de massa verde, e produção de massa seca em capim *Panicum maximum* cv. Mombaça.

Meneghin et al. (2020), Avaliando forrageiras de *Panicum maximum* Massai, Tamani e Quênia, houve aumento de 64,2% na MS das raízes em cultivares adubadas com P, em comparação aquelas que não receberam. Além disso, apresentaram aumentos de 57,27% no

número de perfilhos das cultivares adubadas com P, tendo destaque a cultivar Massai em relação ao Tamani e Quênia, dentro das diferentes doses de P. Trabalhos de Torres et al. (2016), enfatizam a importância do P para o estabelecimento de forrageiras, influenciando um maior desenvolvimento de raízes e densidade de perfilhamento.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. M. S. Calagem em Pastagens Cultivadas na Amazônia. **Documentos**, v. 118, p. 114–120, 2010.
- ARAÚJO, W. F.; SAMPAIO, A. R.; DE MEDEIROS, R. D. Soybean response to phosphate fertilization. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 2, p. 129–134, 2005.
- ARGEL, P. J. et al. Cultivar mulato II (Brachiaria híbrido CIAT 36087) :gramínea de alta calidad y producción forrajera, resistente al salivazo y adaptada a los suelos tropicales ácidos bien drenados. **Centro Internacional de Agroicultura Tropical**, v. 1, p. 1–29, 2007.
- CABRAL, C. E. AVELINO et al. Impactos Técnico-Econômicos Da Adubação De Pastos. **Nativa**, v. 9, n. 2, p. 173–181, 2021. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i2.12047>
- CARNEIRO, J. S. DA S. et al. 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. <https://doi.org/10.18067/jbfs.v4i1.117>
- CECATO, U. et al. Características morfogênicas do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) adubado com fontes de fósforo, sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 6, p. 1699–1706, 2007. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982007000800001>
- CHAPMAN, D. F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: **Baker, M.J., ed. Grasslands for our world. SIR, Wellington, New Zealand.**, p. 55–64, 1993.
- CHIARI, L. et al. A biotecnologia nos programas de melhoramento de forrageiras tropicais da Embrapa Gado de Corte. **Embrapa Gado de Corte**, v. 168, p. 33, 2007.
- COMBES, D.; PERNÉS, J. Variations dans les nombres chromosomiques du *Panicum maximum* Jacq. en relation avec le mode de reproduction. **C.R. Academia Science**, v. 5, p. 270–282, 1970.
- COSTA, N. D. L.; TOWNSEND, C. R.; MAGALHÃES, J. A. Resposta de *Panicum maximum* cv. Massai à fertilização fosfatada. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 9, n. 10, p. 429–433, 2015.
- COSTA, N. DE L. et al. Calagem e adubação de pastagens na Amazônia. **Pubvet**, v. 2, n. 10, p. 1–28, 2008.
- COSTA, N. DE L. et al. Alternativas Tecnológicas para a Pecuária de Roraima. **Embrapa roraima**, n. 19, p. 6–33, 2009.
- COSTA, N. L. et al. Resposta de *Brachiarias brizantha* cv. Xaraés a níveis de calagem. **PUBVET**, v. 6, n. 13, p. 9–25, 2012.
- DIAS-FILHO, M. B. Formação e Manejo de Pastagens. **Embrapa Amazônia Oriental**, v. 235, p. 1–9, 2012.
- DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das Pastagens no Brasil. **Embrapa Amazônia Oriental**, v. 402, p. 21–43, 2014.
- DIAS, D. G. et al. Produção do capim Piatã submetido a diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 330–335, 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p330-335>

- DIFANTE, G. D. S. et al. Características morfogênicas e estruturais do capim-marandu submetido a combinações de alturas e intervalos de corte Morphogenetic and structural characteristics of marandu palisadegrass subjected to combinations of cutting heights and cutting intervals. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 5, p. 955–963, 2011.
- DUARTE, C. F. D. et al. Capim-piatã adubado com diferentes fontes de fósforo. **Revista Investigação medicina veterinária**, v. 15, n. 4, p. 58–63, 2016.
- EUCLIDES, V. P. B. et al. Biological and economic performance of animal genetic groups under different diets. **Bioscience Journal**, v. 34, n. 6, p. 1683–1692, 2018. <https://doi.org/10.14393/bj-v34n6a2018-39808>
- EUCLIDES, V. P. B.; EUCLIDES FILHO, K. Uso de animais na avaliação de forrageiras. **Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte**, v. 74, p. 1–59, 1998.
- FARIA, Á. J. G. DE et al. Adubação nitrogenada e potássica na produtividade do capim Mombaça sobre adubação fosfatada. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 02, n. 3, p. 98–106, 2015. <https://doi.org/10.18067/jbfs.v2i3.24>
- FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. Nutrição mineral de plantas. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p. 1–670, 2018.
- FOLONI, J. S. S. et al. Aplicação de fosfato natural e reciclagem de fósforo por milheto, braquiária, milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1147–1155, 2008. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832008000300023>
- FROSSARD, E. et al. Reactions Controlling the Cycling of P in Soils. **Phosphorus in the Global Environment: Transfers, Cycles, and Management**, n. 54, p. 107–138, 1995.
- GHERI, E. D. O. et al. Critical level of soil phosphorus to Panicum maximum cv. Tanzânia. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 35, n. 9, p. 1809–1816, 2000.
- GONÇALVES, G. et al. Produtividade E Qualidade Nutricional Da Cultivar De Azevém BRS Ponteio Submetido a Diferentes Tipos De Adubação Productivity and Nutritional Quality of BRS Ponteio Ryegrass Submitted To Different Types of Fertilization. **Revista Científica Rural-URCAMP**, v. 19, n. 1, p. 80–99, 2017.
- HEINRICHS, R. et al. Phosphorus Sources and Rates Associated with Nitrogen Fertilization in Mombasa Grass Yield. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 5, p. 657–669, 2016. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1141923>
- IBGE. Censo agropécuário 2017. Resultado definitivos. Censo agropecuario, 2019. **disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/>**, 2022.
- JANK, L. et al. The value of improved pastures to Brazilian beef production. **Crop and Pasture Science**, v. 65, n. 11, p. 1132–1137, 2014. <https://doi.org/10.1071/CP13319>
- JANK, L. et al. Novas alternativas de cultivares de forrageiras e melhoramento para a sustentabilidade da pecuária. **IV SAMPA e VI SIMPAPASTO**, p. 107–118, 2017.
- JANK, L. .; SANTOS, M. F. Capim - BRS Tamani (Panicum maximum Jacq.). **Comunicado Técnico** , v. 161, n. 1, p. 1–48, 2021.
- JANK, L.; SANTOS, M. F.; BRAGA, G. J. O capim-BRS Zuri (Panicum maximum Jacq.) na diversificação e intensificação das pastagens. **Comunicado Técnico, Embrapa**, p. 1–46, 2022.
- LEMAIRE, D.; CHAPMAN, G. **Tissue flows in grazed plant communities. In: The ecology**

and management of grazing systems, 1996.

LEMAIRE, G. et al. Problems of animal production related to pastures in subtropical and temperate regions of South America. In: *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. **CABI Publishing**, p. 355–411, 2000.

LOBATO, A. M. Adubação fosfatada em pastagens. In: PEIXOTO, A. M. (Ed.). **Pastagens: fundamentos da exploração racional**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 155–188.

LOPES, J. et al. Doses de fósforo no estabelecimento de capim-xaraés e estilosantes Mineirão em consórcio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 12, p. 2658–2665, 2011. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982011001200007>

LUZ, DE C. et al. Efeitos de Tipos, Doses e Incorporação de Calcário sobre Características Agronômicas e Fisiológicas do Capim-Tobiatã (*Panicum maximum* Jacq.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 4, p. 964–970, 2000.

MACEDO, M. C. M. Análise comparativa de recomendações de adubação em pastagens. In: **SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM**, v. 21, p. 317–355, 2004.

MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema cerrados: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 42, p. 56–84, 2005.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L.; GOMES, S. D. M. Cerrado - uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens. **Embrapa Cerrados**, v. 1, p. 224, 2007.

MENEGHIN, V. R. et al. Produção de forragem de cultivares de *Panicum maximum* sob aplicação de fósforo. **Congresso Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 55, p. 1–6, 2020.

MITIDIARI, J. F. Respostas de cinco gramíneas forrageiras a níveis de calcário em um Latossolo Vermelho-escuro. **Dissertação, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da USP**, p. 1–125, 1995.

NETO, A. E. F. et al. Fertilidade do solo. **Universidade Federal de Lavras**, p. 149–168, 2001.

NETO, L. B. DE M. et al. Morphogenesis of cynodon cultivars fertilized with nitrogen. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 2, p. 401–408, 2020. <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n2a2020-42469>.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. **Universidade Federal De Viçosa**, 1999.

NUNES, M. T. Estabelecimento de *Brachiaria humidicola* cv. comum sob adubação fosfatada em solo do estado Amazonas. **Teses, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Amazonas**, p. 13–52, 2016.

POSSAMAI, A. J. et al. Influência da adubação fosfatada e calagem na ecofisiologia de gramíneas forrageiras. **Pubvet**, v. 8, n. 8, p. 2–29, 2014. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v8n8.1705>

PRADO, R. M.; VALE, D. W. Nitrogênio, fósforo e potássio na leitura SPAD em porta enxerto de Limoeiro-cravo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 4, p. 227–232, 2008.

RAGHOTHAMA, K. Phosphate transport and signaling. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 3, n. 3, p. 182–187, 2000.

- REZENDE, A. V. DE et al. Morpho-physiological characteristics of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu in response to phosphate fertilization. **Revista Agrarian**, v. 4, n. 14, p. 335–343, 2011.
- SANZONOWICZ, C.; GOEDERT, M. J. Uso de fosfatos naturais em pastagens. **Circular Técnica, Embrapa Cerrados**, v. 21, p. 33, 1986.
- SOUZA, D. J. DE A. T. et al. Efeito de diferentes fontes e solubilidades de fósforo no desenvolvimento e nutrição do capim Mombaça. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 3, p. 72–83, 2020. <https://doi.org/10.5747/ca.2020.v16.n3.a373>
- TORRES, F. E. et al. Doses de fósforo no desenvolvimento inicial e produção de forragem de cultivares de *Panicum maximum*. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 6, p. 1537–1544, 2016. <https://doi.org/10.14393/BJ-v32n6a2016-30196>
- VALÉRIO, J. R. Cigarrinas-das-pastagens. **Documentos-Embrapa Gado de Corte**, v. 179, n. 1, p. 51, 2009.
- VAN RAIJ, B. et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. **Instituto Agrônomo/Fundação IAC**, v. 2, p. 285, 1997.
- VERAS, E. L. DE LIMA et al. Tillering and structural characteristics of panicum cultivars in the Brazilian semiarid region. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 9, p. 1–11, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12093849>
- VOLPE, E. et al. Renovação de pastagem degradada com calagem, adubação e leguminosa consorciada em neossolo Quartzarênico. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 131–138, 2008. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i1.1162>.
- ZHANG, L. et al. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Ca<sup>2+</sup>, and K<sup>+</sup> in subsidiary cells of maize leaves are involved in regulatory signaling of stomatal movement. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 152, p. 243–251, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.045>

## Artigo 1

### Adubação fosfatada no estabelecimento garante aumentos na produção acima e abaixo do solo em forrageiras do gênero *Brachiaria* spp.

*Phosphate fertilization in the establishment ensures increases in above and below ground production in forages of the genus Brachiaria spp.*

#### Resumo

Avaliações das interações entre nutrientes no solo e a planta forrageira melhoram o entendimento na relação solo-planta. O objetivo da pesquisa foi avaliar a produção, características morfológicas e estruturais de forrageiras de *Brachiaria* spp. submetida a doses crescentes de fósforo (P). O período experimental, do plantio ao quinto corte, foi de 162 dias, desenvolvido em casa de vegetação na Embrapa Gado de Corte. O delineamento foi em blocos casualizados em esquema fatorial 6x5, sendo seis forrageiras de *Brachiaria* spp. (Marandu, Basilisk, Mulato II, BRS Ybaté, HD4 e HD1) e cinco doses de P (0; 13; 26; 52 e 104 mg dm<sup>-3</sup>) com quatro repetições, sendo o vaso a unidade experimental (2,55 dm<sup>3</sup> de solo). Foram avaliadas a produção de massa seca (PMS), características morfológicas e estruturais do dossel por meio da técnica de perfilhos marcados e massa seca de raízes (MSR). A produção de massa seca parte aérea (MS) de forragem apresentou comportamento linear positivo com o aumento das doses de P (P=0,0001). Maiores taxas de aparecimento de folha (TApF) (P<0,0001) foram observadas no Basilisk, HD4 e HD1 (0,13 cm perfilho<sup>-1</sup> dia nas três forrageiras). Respostas crescente lineares foram observadas para taxa de alongamento de folha (TAIF), duração de vida de folha (DVF), taxa de alongamento do colmo (TAIC) e comprimento final da folha (CFF) (P<0,0001, P<0,0001, P=0,0003 e P<0,0001 respectivamente) com o aumento da dose de P. Para número de folhas vivas (NFV) foi observado comportamento quadrático (P<0,0001). Maior densidade populacional de perfilho (DPP) de 45 perfilhos, foi observado para HD4 recebendo a dose 104 mg dm<sup>-3</sup> P (P<0,0001). As maiores MSR foram encontradas na forrageira Mulato II e Marandu (20 e 21,80 g vaso<sup>-1</sup>, respectivamente) (P=0,0004). A aplicação de adubação fosfatada influencia positivamente a morfogênese e, conseqüentemente a produção de forragem em *Brachiaria* spp. apesar de aumentos lineares com o aumento de doses de P, a eficiência de uso de P diminui. Forrageiras em fase de pré-lançamento HD4 e HD1 respondem de maneira positiva à adubação, porém estudos em campo e com pressão de pastejo são necessários para continuar avaliando as respostas das forrageiras.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Brachiaria*, fertilização fosfatada, massa seca, morfogênese, raízes.

## 1. INTRODUÇÃO

As cultivares do gênero *Brachiaria* apresentam características de destaque no sistema de produção tropical, entre elas o elevado potencial de produção de forragem, rápido estabelecimento, boa cobertura do solo e ótima competição com plantas invasoras. Além disso, são consideradas de fácil manejo (PACIULLO et al., 2016). O Brasil possui o maior rebanho bovino do mundo e é o segundo maior produtor e o maior exportador mundial de carne (ABIEC, 2022), 196,4 milhões de cabeças é mantida a pasto (ABIEC, 2022), 154,5 milhões de hectares de pastagens é para manter esse rebanho (MAPBIOMAS, 2023), variáveis condições ambientais regionais, objetivos e níveis tecnológicos dos sistemas de produção diversos, várias forrageiras precisam ser utilizadas. Nessa situação, o esforço na busca de novas forrageiras, mais adaptadas, produtivas e de melhor qualidade é permanente, fundamentando-se na realidade tecnológica, socioeconômica e ambiental da pecuária à pasto no Brasil. Associando-se a fertilidade do solo e a escolha da forrageira, é possível alcançar aumentos na produção de forragem em pastagens. Mediante a observação dos processos da morfogênese e coleta de massa verde da planta é possível caracterizar o modo de adaptação, crescimento, e capacidade de acúmulo de forragem em cada espécie forrageira (GOMIDE et al., 2019). A adubação fosfatada pode influenciar em até 80% do perfilhamento durante a fase de estabelecimento das gramíneas (MESQUITA et al., 2010). Plantas forrageiras de alta exigência em fertilidade podem requer de até 200 kg ha<sup>-1</sup> em solos com teores muito baixos (HEINRICHS et al., 2016).

O P tem influência direta no desenvolvimento radicular, taxa de crescimento inicial, perfilhamento e no estabelecimento das pastagens, sendo a deficiência desse elemento limitante para a produtividade da área e a capacidade de suporte do pasto (DUARTE et al., 2016). Desta forma, a reposição deste nutriente no solo se faz necessária (FARIA et al., 2015). O conhecimento da ampla variabilidade das propriedades do solo, o estudo da interação dos elementos químicos, uso e divulgação científica sobre aplicação da adubação fosfatada estratégica em diferentes níveis, tem gerado compreensão sobre a importância do P durante o processo de estabelecimento de gramíneas forrageiras tropicais.

A aplicação de adubação fosfatada modifica aspectos morfofisiológicos nas gramíneas, diante disso, é necessário avaliar o suprimento do nutriente e sua influência sobre a produção de forragem das forrageiras. As hipóteses testadas foram: 1) O fornecimento de doses crescentes de fósforo promove aumentos na produção de massa seca nas plantas forrageiras. 2) Doses de fósforo influenciam respostas crescentes nas características morfogênicas estruturais nas plantas forrageiras. 3) Doses de fósforo promove aumentos na massa de raiz nas plantas

forrageiras. O objetivo do experimento foi avaliar o efeito de doses crescentes de P em forrageiras que estão em fase de pré-lançamento (HD4 e HD1) pela Embrapa Gado de Corte, com o foco de observar as respostas em solo Latossolo Vermelho Distrófico típico.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Local e experimento

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação da Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS (situada à latitude 20°44' S, longitude de 54°72' e altitude de 530 m). O período de avaliação foi de setembro de 2021 a fevereiro 2022, utilizando 162 dias experimentais. O solo utilizado foi Latossolo Vermelho Distrófico típico, coletado em vegetação natural de Cerrado, na camada de 0-20cm, com teor de argila em torno de 40% (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características químicas do solo em cada tratamento antes da semeadura.

Doses (P)	pH	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup>	H+Al	S	T	t	V	m	MO	PM1
	CaCl <sub>2</sub>	cmolc dm <sup>-3</sup>									%	dag dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>
0	4,93	1,10	1,18	0,20	0,13	5,68	2,49	8,17	2,62	30,5	4,9	4,00	1,56
13	5,04	1,29	1,36	0,19	0,06	5,28	2,84	8,12	2,90	35,0	2,2	3,54	2,63
26	5,01	1,24	1,31	0,18	0,08	5,68	2,73	8,41	2,81	32,4	3,0	3,73	3,85
52	5,13	1,59	1,57	0,19	0,07	5,50	3,35	8,84	3,42	37,8	2,2	3,58	4,31
104	5,11	1,43	1,39	0,19	0,06	5,31	3,02	8,33	3,08	36,2	2,1	3,77	8,96

Doses de P: 0; 13; 26; 52 e 104 = mg dm<sup>-3</sup> vaso<sup>-1</sup>. S – soma de bases (Ca + Mg + K); T – CTC potencial (H + Al + Ca + Mg + K); t – CTC efetiva (Ca + Mg + K + Al); V – Saturação por bases [(S/T) \* 100]; m – Saturação alumínio (Al/t)\*100; MO – matéria orgânica. Onde: P, Ca e Mg Mehlich I; Al e KCl 1mol; H+Al Phmetro por solução tampão SMP; MO matéria orgânica Dakota do sul modificado; PM1= Fósforo-Mehlich-1.

A correção e adubação do solo foi realizada com aplicação de 1960 mg dm<sup>-3</sup> de calcário; 58,82 mg dm<sup>-3</sup> de enxofre (S); 12,94 mg dm<sup>-3</sup> de zinco (Zn); 12,94 mg dm<sup>-3</sup> de cobre (Cu); 3,24 mg dm<sup>-3</sup> de boro (B); 1,61 mg dm<sup>-3</sup> de molibdênio (Mo), as fontes corresponderam a enxofre elementar, sulfato de zinco, sulfato de cobre, borato de sódio e molibdato de amônio, respectivamente. No mesmo período foi feita a adubação fosfatada no solo com superfosfato triplo (SFT), nas doses de 0, 13, 26, 52 e 104 mg dm<sup>-3</sup>. Adubação de manutenção, sendo 118 mg dm<sup>-3</sup> de nitrogênio (N) e 98 mg dm<sup>-3</sup> de potássio (K), após cada corte. Como fonte de N, empregou-se a ureia, e como fonte de K, o cloreto de potássio, foram diluídos em água comum num recipiente de 5 litros, e aplicou-se 25 ml da solução por vaso.

Após as adubações, o solo ficou num período de 40 dias com umidade próximo à capacidade de campo para reação do calcário. A semeadura foi realizada em 01 de setembro de

2021, utilizando-se aproximadamente 50 sementes em cada unidade experimental (vaso). Realizou-se um desbaste no dia 15º após a semeadura, e foram mantidas sob irrigação cinco plantas por vaso para o início das avaliações experimentais.

## **2.2 Delineamento experimental**

O delineamento foi em blocos casualizados em esquema fatorial 6x5, sendo seis forrageiras do gênero *Brachiaria* spp. Marandu, Basilisk, Mulato II, BRS Ybaté, HD4 e HD1, e cinco doses de fósforo: 0, 13, 26, 52 e 104 mg dm<sup>-3</sup>, com quatro repetições. O vaso foi considerado como a unidade experimental com 2,55 dm<sup>3</sup> de solo.

## **2.3 Avaliações**

### **2.3.1 Produção de forragem**

Foram realizados cinco cortes de avaliação, sendo o primeiro realizado 58 dias após a semeadura, e os seguintes 28 dias após o corte. Para obtenção da PMS da parte aérea foi adotada a altura de corte para resíduo de 15 cm. Depois de cada corte as amostras foram colocadas em sacos devidamente identificadas e levadas à estufa e secas a circulação forçada de ar à 55° C por 72 horas ou até atingir peso constante. Após a secagem as amostras foram levadas ao laboratório de Nutrição de Plantas para pesagem e obtenção da massa seca total.

### **2.3.2 Variáveis morfológicas e estruturais**

Para avaliação das características morfológicas, foram marcados dois perfilhos representativos, em cada unidade experimental (vaso). Os perfilhos foram substituídos a cada 28 dias após cada corte. Foi realizada uma avaliação após o corte, e a segunda antes do corte seguinte. Foram tomadas as medidas de: altura do solo até a lígula da última folha completamente expandida.

O conjunto de dados coletados determinaram as taxas morfológicas como: taxa de aparecimento de folhas (TApF, cm perfilho<sup>-1</sup> dia) obtida pela quantidade de folhas surgidas por perfilho dividido pelo número de dias do período de avaliação; o filocrono (dias/folha.perfilho), que o intervalo de tempo para o aparecimento de duas folhas consecutivas; taxa de alongamento de folhas (TAIF, cmperfilho<sup>1</sup> dia) sendo o somatório do alongamento total (cm) de lâminas foliares pelo número de dias do período de avaliação. Duração de vida das folhas (DVF, Dia), que é o tempo entre o aparecimento da folha até sua morte Lemaire e Chapman (1996) DVF = NFV x Filocrono). A combinação dessas características morfológicas determina as três

principais características estruturais do dossel forrageiro, sendo elas a densidade populacional de perfilhos (DPP, perfilhos vaso<sup>-1</sup>), o número de folhas vivas (NFV, folhas perfilho<sup>-1</sup>) e o comprimento final da folha (CFF, cm perfilho<sup>-1</sup>). Para taxa de alongamento de colmo (TAIC, cm perfilho<sup>1</sup> dia) foi avaliado a variação média no comprimento do colmo/pseudocolmo durante o período de avaliação. O CFF foi estimado pelo comprimento médio das lâminas foliares completamente expandidas do ápice foliar até a lígula. O NFV foi obtido pelo número de folhas em expansão e expandida, não considerando as folhas senescentes.

### 2.3.3 Densidade populacional de perfilho

A DPP se determinou por meio da contagem de perfilhos em cada unidade experimental, sendo a primeira avaliação o dia 45 após semeadura, e as demais ocorreram um dia antes de cada corte.

### 2.3.4 Massa seca de raízes

Para obtenção da MSR de cada forrageira após o quinto corte de avaliação, as raízes foram retiradas do vaso e separadas do solo, e posteriormente submetidos a lavagem com água corrente, utilizando duas peneiras com dimensões de 2,00 e 1,00 mm no tecido da malha com a finalidade de reter as raízes. Em seguida, as raízes foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa com temperatura de 65°C por 7 dias, até seu peso constante.

### 2.3.5 Eficiência do uso de fósforo

A eficiência do uso de P (EUP) para PMS das forrageiras, foi determinada pelo cálculo da diferença entre a produção de matéria seca total da parcela (PMS<sub>tx</sub>) e a produção de massa seca total (PMS<sub>t0</sub>) da dose zero de P dividida pela dose de P aplicada (D<sub>x</sub>), usando a seguinte fórmula (FAGERIA; STANTON; BALIGAR, 2003):

$$EUP = (PMS_{tx}) - PMS_{t0} / D_x$$

EUP – Eficiência de utilização do fósforo (g MS mg dm<sup>-3</sup> P)

PMS<sub>tx</sub> – produção de massa seca total (g vaso<sup>-1</sup>)

PMS<sub>t0</sub> – produção de massa seca (dose zero)

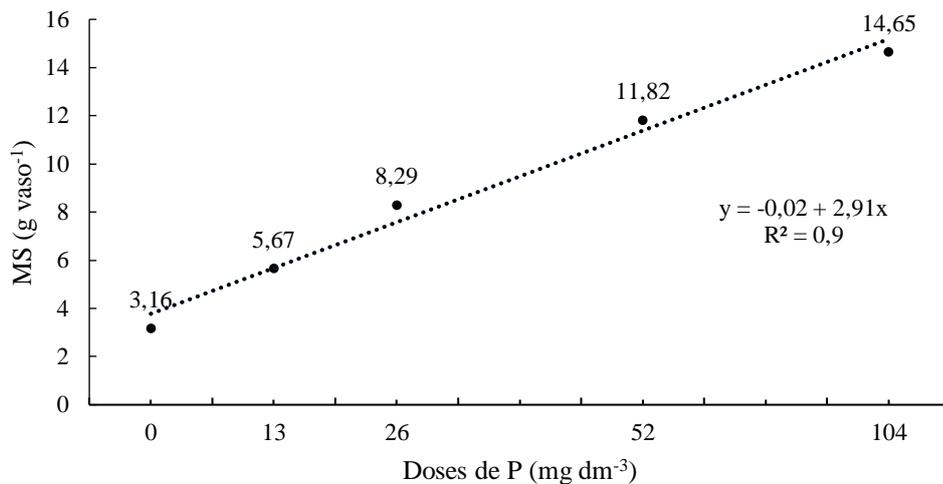
D<sub>x</sub> – Dose de P da parcela (mg dm<sup>-3</sup>)

## 2.4 Análise estatística

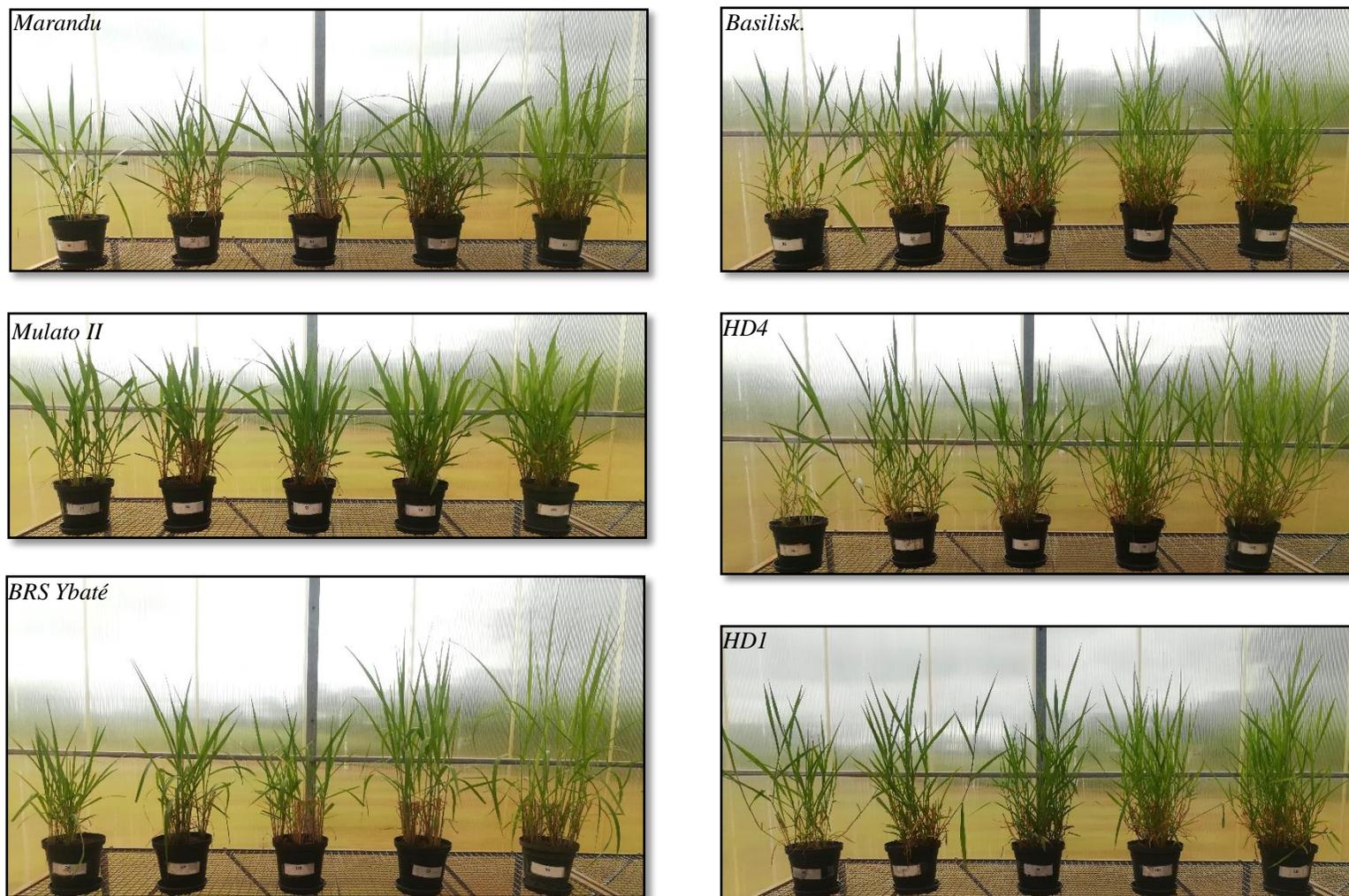
Os dados foram submetidos ao teste de comparações múltiplas de Tukey a 5% de significância. Caso o efeito da interação forrageira\*doses de fósforo não ter sido significativo, se consideraram os fatores isoladamente. O efeito das doses de P foi analisado por equações de regressão. Modelos lineares e quadráticos foram testados e selecionou-se o modelo de acordo com a significância dos coeficientes de regressão, adotando-se 5% de probabilidade. Para a análise utilizou-se o programa de análise estatística e planejamento SISVAR versão 5.7.

## 3. RESULTADOS

Houve efeito da adubação fosfatada para PMS ( $P=0,0001$ ) (Figura 1). As forrageiras de *Brachiaria* spp. apresentaram resposta linear crescente quando foi adubado com P, e com maior produção de 14,65 g MS (média dos 5 cortes) na dose de ( $104 \text{ mg dm}^{-3}$ ), obtendo um aumento em relação ausência de P de 79,43, 162,34, 274,05 e 363, 61 % (dose 13, 26 52 e  $104 \text{ mg dm}^{-3}$  P, respectivamente)



**Figura 1.** Produção de massa seca das forrageiras em função de doses de P.



**Figura 2.** Resposta de produção de forragem em função de doses de P de forrageiras de *Brachiaria* spp. Doses de P dispostos na sequência crescente de esquerda para direita 0, 13, 26, 52 e 104 mg dm<sup>-3</sup>. Embrapa Gado de Corte. (Frontado, 2022).

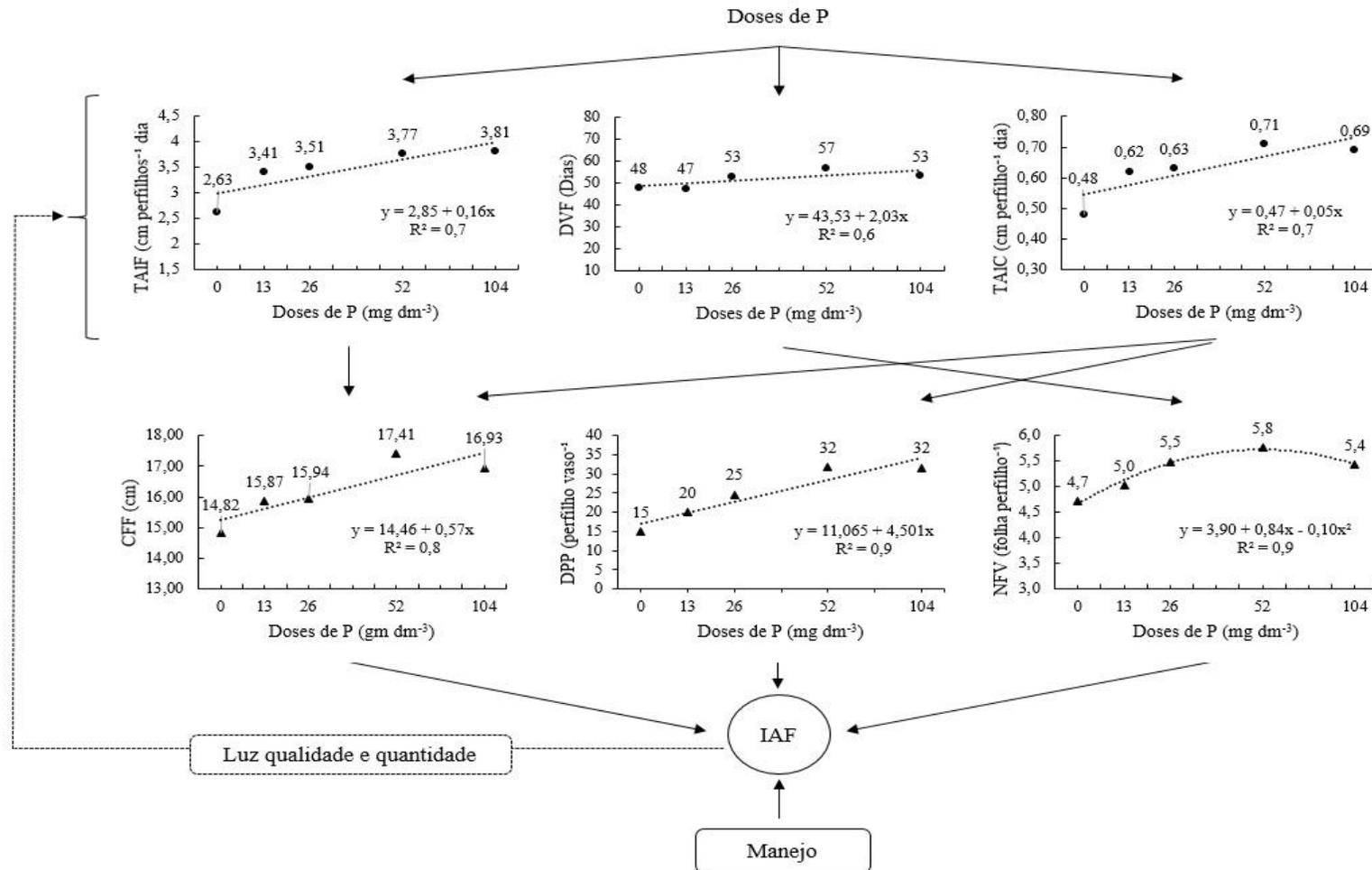
**Tabela 2.** Características químicas do solo no final do experimento.

Doses (P)	pH	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	S	T	t	V	m	MO	PM1
	CaCl <sub>2</sub>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>								%	dag dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	
0	4,30	0,85	0,73	0,79	0,67	5,31	2,36	7,68	3,03	30,78	22,21	3,85	1,35
13	4,70	1,00	0,90	0,71	0,20	4,90	2,60	7,50	2,80	34,64	7,35	3,64	1,14
26	4,64	0,99	0,86	0,47	0,25	5,10	2,33	7,42	2,57	31,39	9,59	3,70	1,32
52	4,51	0,99	0,67	0,39	0,35	5,29	2,05	7,33	2,40	27,90	14,73	3,91	1,83
104	4,54	1,02	0,53	0,41	0,36	4,94	1,95	6,90	2,31	28,36	15,54	3,99	3,63

Doses de P: 0; 13; 26; 52 e 104 = mg dm<sup>-3</sup> vaso<sup>-1</sup>. S – soma de bases (Ca + Mg + K); T – CTC potencial (H + Al + Ca + Mg + K); t – CTC efetiva (Ca + Mg + K + Al); V – Saturação por bases [(S/T) \* 100]; m – Saturação alumínio (Al/t)\*100; MO – matéria orgânica. Onde: P, Ca e Mg Mehlich I; Al e KCl 1mol; H+Al Phmetro por solução tampão SMP; MO matéria orgânica Dakota do sul modificado; PM1= Fósforo-Mehlich-1.

Não houve efeito significativo das doses de P para TApF (P=0,1169). Houve resposta crescente das doses de P para TAlF (P<0,0001); CFF (P<0,0001); DVF (P<0,0001); NFV (P<0,0001); TAIC (P=0,0003) e DPP (P<0,0001).

Foi observado resposta crescente linear na TAlF e CFF (Figura 5), com maior alongamento de folhas de 3,81 cm perfilho dia<sup>-1</sup> na dose 104 mg dm<sup>-3</sup>, e maior comprimento de 17,41 cm na dose 52 mg dm<sup>-3</sup>. Houve efeito das doses de P na DVF (P<0,0001) com resposta linear crescente de 56,87 dias na dose 52 mg dm<sup>-3</sup> P. Menores DVF foram observadas na ausência de P e na dose de 13 mg dm<sup>-3</sup> de P (Figura 5). Houve resposta quadrática da adubação de P sobre o NFV (P<0,0001) (Figura 5), foi observando aumento do NFV com ponto de inflexão negativa a partir da dose 52 mg dm<sup>-3</sup> de P (5,80 folhas perfilho<sup>1</sup>) e menor valores NFV 4,72 folhas perfilho<sup>1</sup> na ausência (Figura 5). As doses de P promoveram resposta linear crescente na taxa alongamento de colmo (TAIC) nos forrageiras sendo observado maior alongamento de 0,71 cm perfilho<sup>1</sup> dia na dose de 52 mg dm<sup>-3</sup> de P (Figura 5). Houve resposta linear crescente sobre DPP (P<0,0001) (Figura 5). Maior DPP foram observadas nas doses de 52 e 104 mg dm<sup>-3</sup>, e menor na ausência de P (Figura 5).



**Figura 3.** Características morfológicas e estruturais de *Brachiaria* spp. em função de doses de P (0, 13 26, 52 e 104 mg dm<sup>-3</sup>). TAlF = taxa de alongamento da folha; DVF = duração de vida da folha; TAIC = taxa de alongamento do colmo; CFF = comprimento final da folha; DPP = densidade populacional de perfilho; NFV = número de folhas vivas; IAF = índice de área foliar.

Houve efeito da forrageira na TApF ( $P<0,0001$ ); TAIF ( $P=0,0006$ ); DVF ( $P<0,0001$ ); TAIC ( $P<0,0001$ ); FIL ( $P<0,0001$ ); CFF ( $P<0,0001$ ) e NFV ( $P<0,0001$ ) (Tabela 4).

Foram verificados maiores valores e semelhantes para TApF de 0,13 cm perfilho<sup>-1</sup> dia no Basilisk, HD4 e HD1 e menores no Marandu, Mulato II e BRS Ybaté. Maiores TAIF de 4,04 e 3,87 cm perfilho<sup>-1</sup> dia foram observados no BRS Ybaté e Marandu, o HD1 e HD4 obtiveram valores intermediários de 3,26 e 3,31 dias, respectivamente, e menor no Basilisk. Maiores valores para DVF de 62,84 e 60,09 dias foram observados no Mulato II e Marandu, menores e semelhantes para os demais forrageiras (Tabela 4). Maiores TAIC no HD4, Basilisk e HD1 (0,91, 0,88 e 0,86 cm perfilho<sup>-1</sup> dia, respectivamente). O Mulato II e Marandu apresentaram maiores valores de 13,23 e 12,51 dias, respectivamente para FIL, e menores no Basilisk, HD4 e HD1. Os maiores valores de CFF foi observado no BRS Ybaté e Marandu (19,72 e 18,46 cm, respectivamente), e menores no Mulato II, HD1, HD4 e Basilisk. Maiores valores de NFV foi observado no HD1, HD4 e Basilisk (5,87, 5,55 e 5,39 folhas perfilho<sup>-1</sup>) e menor no BRS Ybaté.

**Tabela 3.** Características morfogênicas e estruturais em função da forrageira.

Forrageira	Variáveis						
	Morfogênicas					Estruturais	
	DVF (dia)	FIL	TAIC	TAIF	TApF	NFV (folha perfilho <sup>-1</sup> )	CFF (cm)
Marandu	60,09a	12,51ab	0,36b	3,87ab	0,10b	5,23b	18,46a
Mulato II	62,84a	13,23a	0,27b	3,09bc	0,09b	5,11b	15,71b
BRS Ybaté	48,29b	10,86bc	0,43b	4,04a	0,10b	4,60c	19,72a
Basilisk	45,70b	9,21cd	0,88a	3,03c	0,13a	5,39ab	13,83b
HD4	44,88b	8,62d	0,91a	3,26abc	0,13a	5,55ab	14,79b
HD1	47,96b	8,46d	0,86a	3,31abc	0,13a	5,87a	15,01b
Média	51,62	10,48	0,61	3,43	0,11	5,29	16,25
EMP	1,676	0,456	0,042	0,197	0,003	0,123	0,51
P-valor	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0,0006	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Número de folhas vivas (NFV), duração de vida de folha (DVF), Filocrono (FIL), taxa de alongamento de caule (TAIC), taxa de alongamento de folhas (TAIF), taxa de aparecimento de folha (TApF) e comprimento final de folha (CFF). Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. P-valor= probabilidade de efeito significativo. EMP= erro médio padrão.

Houve interação entre forrageira\*dose de P para DPP ( $P < 0,0001$ ) (Tabela 5). Na ausência de adubação e na dose de  $13 \text{ mg dm}^{-3}$  de P as DPP foram semelhantes. A partir da dose  $26 \text{ mg dm}^{-3}$  de P houve aumento do perfilhamento nas forrageiras. Nas doses de 26 e  $52 \text{ mg dm}^{-3}$  de P o maior perfilhamento foi notado no capim-basilisk, e menores no BRS Ybaté, e capim-marandu. Na dose de  $104 \text{ mg dm}^{-3}$  de P a maior DPP foi verificada na forrageira HD1, proporcionando um aumento de aproximadamente de 197% em relação à ausência da adubação de P (Tabela 5). Verificou-se para BRS Ybaté comportamento quadrático em função das doses de P com maior valor observado de 28,35 perfilhos na dose  $104 \text{ mg dm}^{-3}$  P. já para as demais forrageiras houve resposta crescente linear em função das doses de P.

**Tabela 4.** Densidade populacional de perfilhos em função da interação forrageira\*doses de P.

Forrageira	Doses de P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )					P-valor	EMP	Equação	R <sup>2</sup>
	0	13	26	52	104				
	DPP (perfilho vaso <sup>-1</sup> )								
Marandu	12,15a	15,20a	18,85b	26,40cd	33,60cd	<0.0001	1,976	Y= 5,01+5,41x	0,9
Mulato II	17,15a	19,55a	26,10ab	31,65bc	36,60bcd	<0.0001	1,976	Y= 11,31+4,97x	0,9
BRS Ybaté	17,10a	18,00a	18,50b	21,25d	28,35d	0,0003	1,976	Y= 20,24-3,70x+1,04x <sup>2</sup>	0,9
Basilisk	16,50a	22,90a	30,00a	40,05a	41,80ab	<0.0001	1,976	Y= 9,92+6,77x	0,9
HD4	11,75a	20,55a	28,00a	36,40ab	40,70abc	<0.0001	1,976	Y= 5,35+7,37x	0,9
HD1	15,20a	23,50a	26,30ab	34,50ab	45,40a	<0.0001	1,976	Y= 7,33+7,18x	0,9
Média	14,97	19,95	24,62	31,70	31,60				
EMP	2,035	1,976	1,976	1,976	1,976				
P-valor	0,0663	0,0427	<0,0001	<0,0001	<0,0001				

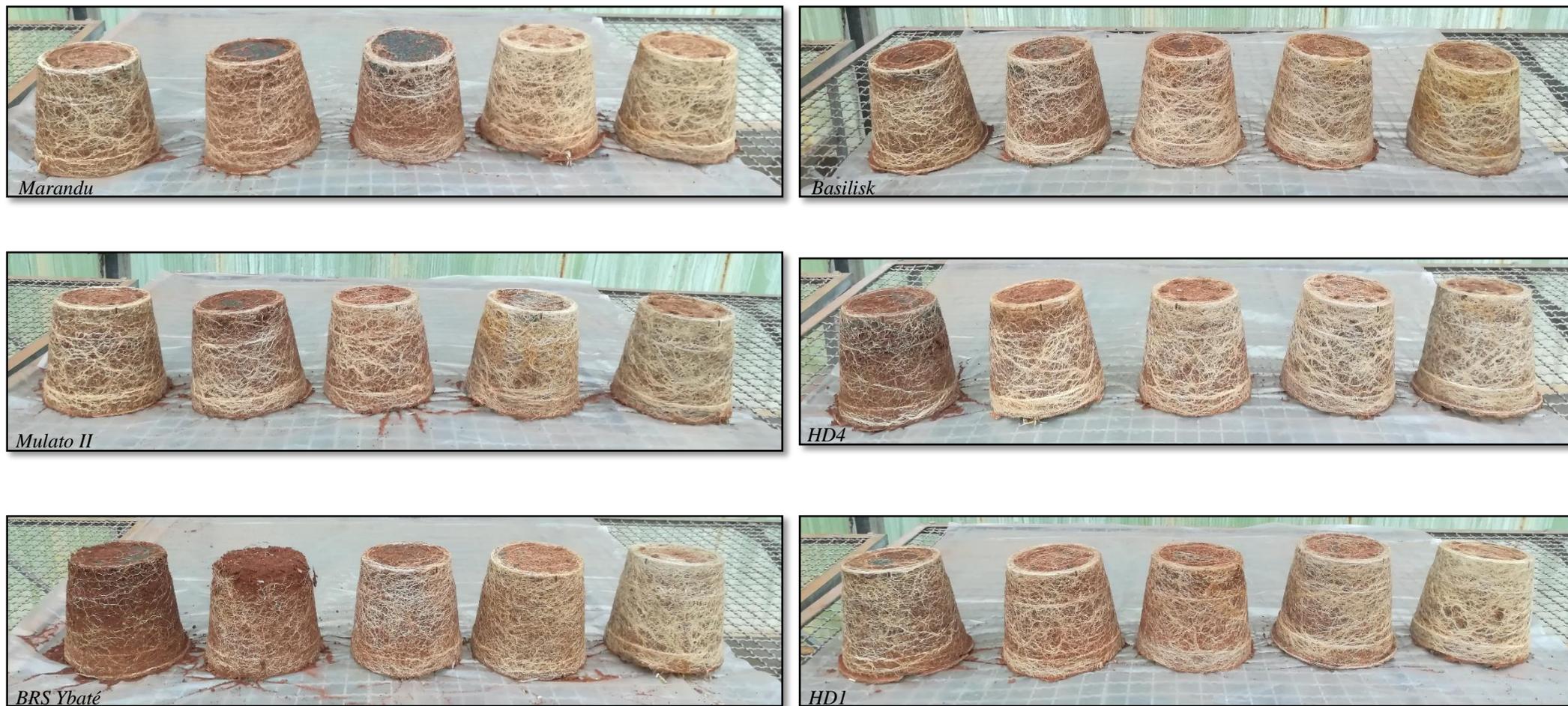
Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. P-valor: probabilidade de efeito significativo. EMP= erro médio padrão.

Houve interação forrageira\*doses de fósforo sobre MSR ( $P=0,0004$ ), foram observadas respostas quadráticas e lineares em função da dose (Tabela 3) nas plantas forrageiras. A maior massa de, 20 e 21,80 g vaso<sup>1</sup>, foi observada nas forrageiras Mulato II e Marandu, respectivamente, quando adubado com 104 mg dm<sup>-3</sup> de P. A forrageira BRS Ybaté respondeu com respostas crescentes na massa de raiz a cada aumento de P. O cultivar Basilisk ao passo do aumento de P, as diferenças foram um pouco menores. Os híbridos HD4 e HD1 foram intermediários em números absolutos.

**Tabela 5.** Massa seca de raízes em função da interação forrageira\*doses de P.

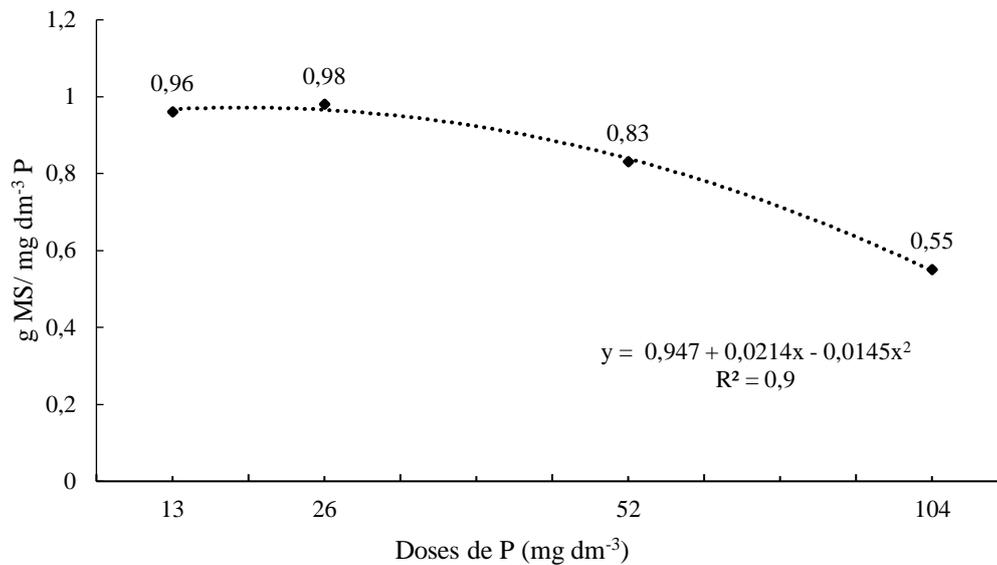
Forrageiras	Doses de P (mg dm <sup>-3</sup> )					P-valor	EMP	Equação	R
	0	13	26	52	104				
	MSR (g vaso <sup>-1</sup> )								
Marandu	7,91ab	6,17ab	11,46ab	19,60a	21,80a	<0,0001	1,120	Y= 6,39-0,47+0,76x <sup>2</sup>	0,9
Mulato II	10,29a	10,52a	14,50a	18,40ab	20,00ab	<0,0001	1,120	Y=6,55+2,72x	0,9
BRS Ybaté	5,47b	6,11ab	8,88b	14,66bc	19,54ab	<0,0001	1,120	Y=5,67-1,25x+0,81x <sup>2</sup>	0,9
Basilisk	6,91ab	5,68b	10,43ab	11,77c	12,16c	0,0001	1,120	Y= 4,41+1,65x	0,8
HD4	4,67b	8,06ab	10,90ab	13,53c	14,92c	<0,0001	1,120	Y=2,63+2,59x	0,9
HD1	6,83ab	7,67ab	9,05b	11,77c	15,70bc	<0,0001	1,120	Y= 3,62+2,18x	0,8
Média	7,01	7,36	10,87	14,95	17,35				
EMP	1,120	1,120	1,120	1,120	1,120				
P-valor	0,0127	0,0303	0,0083	<0,0001	<0,0001				

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. P-valor: probabilidade de efeito significativo. EMP= erro médio padrão.



**Figura 4.** Resposta de massa de raízes em função de doses de P de forrageiras *Brachiaria* spp. Doses de P dispostos na sequência crescente de esquerda para direita 0, 13, 26, 52 e 104 mg dm<sup>-3</sup>. Embrapa Gado de Corte. (Frontado, 2022).

Houve resposta decrescente para eficiência do uso de fósforo (EUP) em *Brachiaria* spp. (Figura 3). As forrageiras apresentaram aumentos na eficiência de utilização do P inversamente proporcional às doses de P aplicadas. Foi verificado na dose 104 mg dm<sup>-3</sup> um decréscimo de aproximadamente 41% na eficiência de utilização de P pelas forrageiras quando comparado com a menor dose avaliada.



**Figura 5.** Eficiência de uso de fósforo de *Brachiaria* spp. em função das doses de P.

## DISCUSSÃO

O fornecimento de doses de fósforo promoveu resposta linear crescente na PMS de forragem (Figura 1), obtendo um aumento de 363,61% entre a dose 104 mg dm<sup>-3</sup> P e ausência de P. Almeida et al. (2018), descrevem que as *Brachiaria* spp. são responsivas ao fornecimento de P quando estão em condições ótimas de nutrição, principalmente N-K, levando a aumentos na produção da forrageira. O aumento de PMS pode ser explicado pela influência e interações das características morfogênicas (TApF, TAlF, DVF e TAIC), a pesar de serem características determinadas geneticamente, elas podem ser influenciadas pela variável nutriente (BARBOSA et al., 2002) e por consequência, influenciam as características estruturais (CFF, DPP e NFV). Observou-se diferentes valores na TApF para as forrageiras (Tabela 3), esta variável influencia diretamente as características estruturais (CHAPMAN; LEMAIRE, 1993). O Basilisk, HD4 e HD1 obtiveram maior taxa de aparecimento (Tabela 3) quando comparadas com as demais, forrageiras com valores altos na TApF tendem a apresentar menor TAlF, CFF e DVF (Tabela

3) (ZARROUGH; NELSON; SLEPER, 1984). Os resultados demonstram que essas forrageiras tendem a remobilizar maiores quantidades de nutrientes para o surgimento de novas folhas, em detrimento do alongamento e menor tempo de vida das folhas. O aumento da TApF acarreta em maior possibilidade para gerar um novo perfilho, isso ajuda a explicar o aumento da DPP (Figura 5). O Basilisk, HD4 e HD1 foram superiores no perfilhamento em relação às demais forrageiras (Tabela 5), pode-se explicar que a condição genética delas tende a gerar mais folhas e, conseqüentemente um novo perfilho. O hábito de crescimento decumbente com alto perfilhamento basal, é outro aspecto para o destaque. A aplicação de P e a disponibilidade de N-K no solo, e por consequência nas células vegetais, estimulou o processo fotossintético. Isso, por sua vez induz variações na geração de perfilhos obtendo aumentos no perfilhamento quando há fertilização fosfatada (TORRES et al., 2016). O comportamento quadrático e menor perfilhamento no BRS Ybaté, pode ser uma característica da forrageira em apresentar baixa exigência do nutriente para expressar seu máximo perfilhamento, porém se precisa mais estudos para corroborar esse fato.

As variáveis TAlF e DVF foram influenciadas positivamente ao fornecimento de P, o aumento na TAlF (Figura 3), pode ser explicado pela participação do nutriente P na transferência de energia da célula como respiração, fotossíntese, fosfoproteínas entre outros, estimulando assim os tecidos meristemáticos por meio da mitose celular, obtendo aumentos no alongamento de folhas (REZENDE et al., 2011). A alta solubilidade da fonte de P e a calagem empregada pode ter permitido melhor aproveitamento do nutriente pelas plantas. A TAlF influencia diretamente CFF (CHAPMAN; LEMAIRE, 1993). Os aumentos em função da adubação de P no CFF são explicados pela influência das maiores TAlF observadas (Figura 3), quando é analisado o efeito das forrageiras (Tabela 3), se evidencia a relação positiva entre TAlF e CFF, observando maiores valores para o Marandu e BRS Ybate. Forrageiras com maior CFF tendem a produzir maior massa de forragem, sendo relacionada com o índice de área foliar e maior capacidade fotossintética (SANTOS et al., 2012).

O maior valor de DVF foi notado no Marandu e Mulato II (Tabela 3), resultados evidenciam que a variável é condicionada pela genética, porém é influenciada e afetada pela fertilidade do solo e/ou adubação (MARTUSCELLO et al., 2014). Os menores valores de DVF para o Basilisk, HD4 e HD1 são coerentes com os maiores valores de TApF, sendo que, existe maior fluxo de tecido para o aparecimento de folhas em detrimento do alongamento, comprimento e duração de vida (Tabela 3). A DVF e TApF influenciam diretamente o NFV, sendo uma característica dependente da espécie (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996). As forrageiras Basilisk, HD4 e HD1 obtiveram os maiores valores de NFV, coerentes com maiores

valores de TApF e menores DVF (Tabela 3). O alongamento do colmo (TAIC) pode ser explicado pela associação direta do P na atividade meristemática do perfilho e emissões de estolões, além de ser essencial para a divisão celular (CANTARUTTI et al., 2002). Apesar disso, o aumento do colmo pode ser acompanhado por repercussão negativa no valor nutritivo e aproveitamento da forragem (SANTOS, 2002). O efeito das doses de P promoveram elevação do meristema apical do perfilho, provocando aumentos na TAIC (Figura 5). Quando é analisado o efeito das forrageiras, o Basilisk, HD1 e HD4 apresentaram maiores alongamentos do colmo (Tabela 3) quando comparadas com as demais, esse fato deve-se em que as forrageiras com maiores valores possuem hábito de crescimento decumbente, maior emissão e alongamento de estolões, aspecto genético da espécie (COSTA et al., 2020).

A MSR aumentou a cada dose de P em todas as forrageiras (Tabela 5), esse aumento pode ser resultado de uma maior extração de P, Ca, Mg e K (Tabela 2) o que resulta no aumento na produção de fotoassimilados que são redistribuídos para as raízes, incrementando assim a MSR (TORRES et al., 2016). A absorção de P acontece quando há interceptação dos nutrientes disponíveis com as raízes, por meio do mecanismo de difusão segundo o gradiente de concentração criado entre a solução do solo e a superfície das raízes (NETO et al., 2001). Houve um acréscimo na média geral de 147% na MSR entre ausência e a maior dose, esse fato denota a importância do P no estabelecimento de plantas forrageiras. Aumentos na MSR são semelhantes ao descrito por Dias et al. (2012) em capim-marandu entre ausência e a maior dose de P, utilizando como fonte superfosfato simples. Resultados para eficiência de uso de P foi inversamente proporcional às doses aplicadas. Porém, o uso de P promove respostas crescentes em várias culturas, a pesar disso, à medida que se aumenta a dosagem do nutriente diminui a eficiência de resposta na produção de biomassa (POSSAMAI et al., 2014),

#### **4. CONCLUSÃO**

A aplicação de adubação fosfatada influencia positivamente a morfogênese e, consequentemente a produção de forragem em *Brachiaria* spp. apesar de aumentos lineares com o aumento de doses de P, a eficiência do uso de P diminui. O Marandu e BRS Ybaté obtiveram maior TAIF e CFF, as variáveis influenciam diretamente a produção de forragem. Forrageiras em fase de pré-lançamento HD4 e HD1 respondem de maneira positiva à adubação sobre TApF, NFV e DPP. Marandu, Mulato II e BRS Ybaté tendem aumentar a MSR conforme aumenta a disponibilidade de P, embora mais estudos em campo são necessários para continuar avaliando as respostas das forrageiras.

## **5. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Gado de Corte), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) pelo apoio.

## REFERÊNCIAS

- ABIEC. Beef report-perfil da pecuária no Brasil 2021. São Paulo. **Disponível em:** <http://abiec.com.br/publicações/beef-report-2022/>. **Acesso em: 8 Mar. 2023.**, 2022.
- ALMEIDA, E. M. DE et al. Produção de forragem sob doses de fósforo e nitrogênio. v. 3, n. 1, p. 32–33, 2018.
- BARBOSA, R. A. et al. Características Morfogênicas e Acúmulo de Forragem do Capim-Tanzânia (*Panicum Morphogenetic Characteristics and Forage Accumulation of Tanzania Grass ( Panicum Maximum Jacq .)* in Two Post-Graze Stubbles. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 583–593, 2002.
- CANTARUTTI, R. B. et al. The effect of grazing intensity and the presence of a forage legume on nitrogen dynamics in *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the south of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 64, n. 3, p. 257–271, 2002.
- CHAPMAN, D. F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. **In: Baker, M.J., ed. Grasslands for our world. SIR, Wellington, New Zealand.**, p. 55–64, 1993.
- COSTA, M. L. L. DA et al. Characterization of *Brachiaria humidicola* cv. BRS Tupi. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 313–322, 2020. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n1p313>
- DIAS, D. G. et al. Rendimento Forrageiro Do Capim Marandu Submetido a Diferentes Fontes De Fósforo. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 10, n. 4, p. 345, 2012. <https://doi.org/10.7213/academica.7740>
- DUARTE, C. F. D. et al. Capim-piatã adubado com diferentes fontes de fósforo. **Revista Investigação Medicina Veterinária**, v. 15, n. 4, p. 58–63, 2016.
- FAGERIA, N. K.; STANTON, N. A.; BALIGAR, V. C. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. **Advances in Agronomy**, p. 63–152, 2003.
- FARIA, Á. J. G. DE et al. Adubação nitrogenada e potássica na produtividade do capim Mombaça sobre adubação fosfatada. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 02, n. 3, p. 98–106, 2015.
- GOMIDE, C. A. M. et al. Productive and morphophysiological responses of *Panicum maximum* Jacq. cv. BRS Zuri to timing and doses of nitrogen application and defoliation intensity. **Grassland Science**, v. 65, n. 2, p. 93–100, 2019. <https://doi.org/10.1111/grs.12226>
- HEINRICHS, R. et al. Phosphorus Sources and Rates Associated with Nitrogen Fertilization in Mombasa Grass Yield. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 5, p. 657–669, 2016. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1141923>
- LEMAIRE, D.; CHAPMAN, G. **Tissue flows in grazed plant communities. In: The ecology and management of grazing systems**, 1996.
- MAPBIOMAS. Plataforma de Mapas e Dados. **Disponível em:** <https://mapbiomas.org/>. **Acesso em: 8 de mar. 2023**, 2023.
- MARTUSCELLO, J. A. et al. Adubação nitrogenada em capim-massai: Morfogênese e produção. **Ciência Animal Brasileira**, v. 16, n. 1, p. 1–13, 2014. <https://doi.org/10.1590/1089-68916i118730>

## ADUBAÇÃO

- MESQUITA, E. E. et al. Teores críticos de fósforo no solo e características morfológicas de *Panicum maximum* cultivares Mombaça e Tanzânia-1 e *Brachiaria* híbrida Mulato sob aplicação de fósforo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 11, n. 2, p. 292–302, 2010.
- NETO, A. E. F. et al. Fertilidade do solo. **Universidade Federal de Lavras**, p. 149–168, 2001.
- PACIULLO, D. S. C. et al. Tecnologia e custo de produção de *Brachiaria decumbens* para uso sob pastejo. **Circular Técnica**, v. 111, p. 1–6, 2016.
- POSSAMAI, A. J. et al. Influência da adubação fosfatada e calagem na ecofisiologia de gramíneas forrageiras. **Pubvet**, v. 8, n. 8, p. 2–29, 2014.
- REZENDE, A. V. DE et al. Morpho-physiological characteristics of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu in response to phosphate fertilization. **Revista Agrarian**, v. 4, n. 14, p. 335–343, 2011.
- SANTOS, M. E. R. et al. Correlações entre características morfológicas e estruturais em pastos de capim-Braquiaria. **Ciência Animal Brasileira**, v. 13, n. 1, p. 49–56, 2012. <https://doi.org/10.5216/cab.v13i1.13401>
- SANTOS, P. M. Controle do desenvolvimento das hastes no capim tanzânia: um desafio. **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.**, p. 1–82, 2002.
- TORRES, F. E. et al. Doses de fósforo no desenvolvimento inicial e produção de forragem de cultivares de *Panicum maximum*. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 6, p. 1537–1544, 2016. <https://doi.org/10.14393/BJ-v32n6a2016-30196>
- ZARROUGH, K. M.; NELSON, C. J.; SLEPER, D. A. Interrelationships between Rates of Leaf Appearance and Tillering in Selected Tall Fescue Populations 1. **Crop Science**, v. 24, n. 3, p. 565–569, 1984.

## Artigo 2

### Produção, morfogênese e raízes de *Panicum maximum* sob doses de fósforo e calcário

*Production, morphogenesis and roots of Panicum maximum under doses of phosphorus and limestone*

#### Resumo

O objetivo foi avaliar o efeito de doses de calcário e fósforo (P) na produção, características morfogênicas e estruturais de forrageiras de *Panicum maximum*. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação da Embrapa Gado de Corte durante 162 dias. Foi conduzido em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 6x2x5, com seis forrageiras de *Panicum maximum* Tamani, PM422, PM408, Zuri, PM414 e PM406, duas doses de P (P19 e P116 mg dm<sup>-3</sup>) e cinco doses de calcário (0, 326, 653, 1306 e 2612 mg dm<sup>-3</sup>) com três repetições. Os *Panicum* foram estabelecidos em dois grupos para facilitar o entendimento das respostas, o primeiro de porte baixo (Tamani, PM422 e PM408) e o segundo de porte médio (Zuri, PM414 e PM406). As forrageiras foram agrupadas segundo seus valores semelhantes na altura de crescimento em vasos de cultivares lançados ao mercado BRS Tamani e BRS Zuri. Para avaliação da produção de massa seca (PMS) foram feitos cinco cortes cada 28 dias, exceto o primeiro que foi aos 58 dias após semeadura. As avaliações de morfogêneses como taxa de aparecimento (TApF), taxa de alongamento de folha (TAIF), duração de vida de folha (DVF), taxa de alongamento de colmo (TAIC), comprimento final de folha (CFF) e número de folhas vivas (NFV), foram realizadas cada 21 dias e a densidade populacional de perfilho (DPP) antes de cada corte. Após o último corte as raízes foram lavadas em peneiras, secas e pesadas para determinação da massa seca de raízes (MSR; g vaso<sup>-1</sup> de MS). Em *Panicum maximum* de porte baixo houve aumento da PMS em função da interação fósforo\*calcário (P=0,0384), foi observado resposta linear crescente para doses de calcário associada a P116 mg dm<sup>-3</sup>, com maior valor de 15,08 g vaso<sup>-1</sup> na dose 2612 mg dm<sup>-3</sup> de calcário. O fornecimento de P promoveu alterações na TApF, TAIF e TAIC, maiores valores foram observados no P19. Ao analisar o efeito das forrageiras, maior TApF de 0,11 dia foi para PM422 (P<0,0001), para TAIF foram maiores valores no PM422 e Tamani (4,11 e 3,79 cm perfilho<sup>-1</sup> dia, respectivamente) (P=0,0004), e para CFF maiores valores foram observados no PM422 e Tamani (19,12 e 18,00 cm perfilho<sup>-1</sup> dia, respectivamente) (P=0,0005). Maior DPP na interação fósforo\*calcário (P=0,0447) de 71,08 perfilhos, foi observado na dose P116 mg dm<sup>-3</sup> associada a 2612 mg dm<sup>-3</sup> calcário, menores valores (média= 23 perfilhos) (P=0,8124) foram observados na dose P19 associada às doses de calcário. Quando foi analisado a interação forrageira\*fósforo (P<0,0001), maiores valores de 29,66 e 74,53 perfilhos (P19 e P116 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente) foi notado no PM408. Maior MSR de 27,84 g vaso<sup>-1</sup> foi observada na dose de P116 mg dm<sup>-3</sup> (P<0,0001). Para *Panicum maximum* de porte médio houve aumento da PMS em função da forrageira, fósforo e calcário (P=0,0059, P<0,0001 e P<0,0001, respectivamente). Maior PMS em função da forrageira de 11,09 g vaso<sup>-1</sup> foi verificado no Zuri, em função do P maior valor de 15,93 g vaso<sup>-1</sup> foi na dose P116 mg dm<sup>-3</sup>, e para calcário foi verificada resposta quadrática com maiores valores em doses ≥ 653 mg dm<sup>-3</sup> de calcário. Já para TApF e TAIC (P<0,0001 e P=0,0069, respectivamente) o resultado foi inversamente proporcional às doses crescentes de P. As maiores TAIF de 5,26 e 5,04 cm perfilho<sup>-1</sup> dia em função da forrageira (P=0,0006), foram observadas no Zuri e PM406, respectivamente. Para CFF foi observado maior valor de 25,38 e 22,70 cm, no Zuri e PM406, respectivamente (P<0,0001). Maior DVF de 59,70 dia foi observado no PM414 (P<0,0001), em função de P maior valor de 56,76 dia foi no P116 mg dm<sup>-3</sup> (P=0,0017). Maior DPP de 31 perfilhos na interação forrageira\*fósforo\*calcário (P=0,0032), foi observado para PM406 recebendo a dose P116, associada a dose 2612 mg dm<sup>-3</sup> de calcário. A maior MSR na interação forrageira\*fósforo de 34,73 g vaso<sup>-1</sup> foi observado para PM406 recebendo a dose P116 (P<0,0001). A adubação fosfatada promove aumentos na produção de

forragem, perfilhamento e massa de raízes em forrageiras de *Panicum maximum*. A calagem favorece aumentos na produção de forragem, perfilhamento e massa de raízes, conforme se aumenta a disponibilidade de fósforo. Resultados evidenciam que as forrageiras em fase de pré-lançamento respondem positivamente a aplicação de calcário associado ao fósforo. O PM406 parece responder mais a incrementos de fertilidade do solo. O PM414 tal vez seja mais adaptada a solos com baixa disponibilidade de P. Resultados indicam que o PM422 tende a ter maior comprimento da folha. Porém mais estudos em condições de campo e com animais, são necessários dentro do programa de melhoramento de forrageiras tropicais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adubação fosfatada, calcário, massa seca, morfogênese, *Panicum*, raízes.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países líderes na atividade pecuária, com cerca de 195 milhões de cabeças (IBGE, 2022). A maior parte do sistema de produção é feita em pasto, aproximadamente 173 milhões de hectares, sendo cerca de 67% são pastagens cultivadas, apenas 3% desse rebanho são terminados com suplementação na forma de ração (RODRIGUES, 2010). Manter níveis adequados na produção forrageira, compatíveis com características do solo, a fim de que o sistema de produção permaneça sustentável no decorrer do tempo, se tornou um dos maiores contratempos da atividade pecuária (EUCLIDES et al., 2014).

O uso de plantas forrageiras com elevado potencial de produção e valor nutricional, é uma ferramenta importante para garantir a sustentabilidade no setor pecuário (BRAZ et al., 2017). Por tanto, é necessário buscar plantas de alto rendimento adaptadas às diferentes características edafoclimáticas das regiões tropicais a fim do sucesso dos sistemas de produção animal em pasto, sendo os programas de melhoramento genético de plantas forrageiras o centro piloto para desenvolvimento e avanço no recurso vegetal. O estudo da capacidade de resposta à fertilização em novas forrageiras é de grande importância para a diversificação, estabelecimento, manejo e persistência das gramíneas no mercado agropecuário na região tropical. Os *Panicum maximum* é uma das forrageiras mais utilizadas em sistema de produção animal, possui boa adaptação a climas tropicais e subtropicais e excelente produtividade (GOMES et al., 2011). Entretanto, são espécies altamente exigente. A aplicação de calcário indisponibiliza o alumínio tóxico, aumenta a capacidade de troca catiônica no solo e disponibiliza o P, o que permite seu uso nos processos morfofisiológicos de plantas forrageiras (SOUSA et al., 2001). Estudos de Paulino et al. (2007), com capim-tanzânia comprovaram que a calagem proporciona maiores rendimentos de MS, de 22,98 e 24,13 g vaso<sup>-1</sup> (3000 e 4000 kg há<sup>-1</sup> calcário, respectivamente), sendo 9,07 g vaso<sup>-1</sup> MS na ausência de calcário. Em outro estudo, Paulino et al. (2006) observaram rendimentos positivos quando foi aplicada dose de 3.292 kg ha<sup>-1</sup> de calcário em capim-massai.

Diante disso, é necessário avaliar o fornecimento do fósforo e calcário, e a influência sobre a produção de forragem, morfogênese e raízes em plantas forrageiras de *Panicum maximum*. As hipóteses testadas foram: 1) O fornecimento de doses de fósforo pode promover aumentos nas características morfogênicas, PMS e MSR nas forrageiras. 2) O fornecimento de calcário pode promover aumentos nas características morfogênicas, PMS e MSR nas forrageiras. 3) A associação de doses de fósforo e calcário pode promover aumentos nas características morfogênicas, PMS e MSR nas forrageiras. O objetivo principal foi avaliar as

respostas das plantas que estão em fase de pré-lançamento (PM422, PM408, PM414 e PM406) no programa de melhoramento de forrageiras tropicais em solo Latossolo Vermelho Distrófico Típico sob doses de P e calcário.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Local e período experimental

O experimento foi desenvolvido na casa de vegetação da Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS, (à latitude 20°44' S, longitude de 54°72' e altitude de 530 m), no período de setembro de 2021 a fevereiro 2022. O solo utilizado foi Latossolo Vermelho Distrófico típico com teor de argila de 40%, coletado no Cerrado, na camada de 20-40 cm, sob pastagem extensiva sem fertilização química. Os atributos químicos do solo antes do início do experimento foram:

**Tabela 1.** Características químicas do solo em cada tratamento antes da semeadura.

Doses P	Calcário mg dm <sup>-3</sup>	pH	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup>	H+Al	S	T	t	V	m	MO	PM1
		CaCl <sup>2</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>								%	dag dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	
19	0	4,65	0,24	0,22	0,12	0,39	4,90	0,58	5,49	0,98	10,7	40,1	2,95	1,10
	326	4,71	0,41	0,41	0,10	0,21	4,97	0,91	5,88	1,12	15,5	18,9	2,73	1,63
	653	4,86	0,56	0,59	0,07	0,12	4,87	1,23	6,10	1,34	20,1	8,7	3,02	0,76
	1306	5,20	1,05	0,98	0,13	0,03	5,00	2,16	7,16	2,19	30,1	1,5	2,57	0,88
	2612	5,49	1,57	1,47	0,14	0,00	4,09	3,18	7,27	3,18	43,8	0,0	2,70	0,86
116	0	4,61	0,45	0,26	0,17	0,29	5,04	0,88	5,91	1,16	14,8	24,6	2,56	4,60
	326	4,72	0,58	0,47	0,14	0,18	5,00	1,20	6,20	1,38	19,4	13,1	2,58	4,62
	653	4,97	0,77	0,64	0,12	0,10	4,90	1,54	6,45	1,64	23,9	5,8	2,58	4,28
	1306	5,12	1,06	0,92	0,14	0,04	4,49	2,12	6,61	2,16	32,1	2,0	2,49	3,65
	2612	5,62	1,86	1,67	0,13	0,00	3,80	3,66	7,46	3,66	49,1	0,0	2,45	3,86

Doses de P: 19; 116 = mg dm<sup>-3</sup> vaso<sup>-1</sup>. Doses de calcário: 0; 326; 653; 1306 e 2612 = mg dm<sup>-3</sup> vaso<sup>-1</sup>. S – soma de bases (Ca + Mg + K); T – CTC potencial (H + Al + Ca + Mg + K); t – CTC efetiva (Ca + Mg + K + Al); V – Saturação por bases [(S/T) \* 100; m – Saturação por alumínio (Al/t)\*100; MO – matéria orgânica. Onde: P. Ca e Mg Mehlich I; Al e KCl 1mol; H+Al Phmetro por solução tampão SMP; MO matéria orgânica Dakota do sul modificado

Antes da semeadura foram aplicadas no solo as doses crescentes de calcário dolomítico (0; 326; 653; 1306 e 2612 mg dm<sup>-3</sup>) e as duas doses de P (19 e P116 mg dm<sup>-3</sup>), igualmente receberam aplicação de 58,82 mg dm<sup>-3</sup> de enxofre (S); 12,94 mg dm<sup>-3</sup> de zinco (Zn); 12,94 mg dm<sup>-3</sup> de cobre (Cu); 3,24 mg dm<sup>-3</sup> de boro (B); 1,61 mg dm<sup>-3</sup> de molibdênio (Mo), as fontes foram o enxofre elementar, sulfato de zinco, sulfato de cobre, borato de sódio e molibdato de

amônio, respectivamente. Adubação de manutenção, sendo  $118 \text{ mg dm}^{-3}$  de nitrogênio (N) e  $98 \text{ mg dm}^{-3}$  de potássio (K), após cada corte. Como fonte de N, empregou-se a ureia, e como fonte de K, o cloreto de potássio, foram diluídos em água comum num recipiente de 5 litros, e aplicou-se 25 ml da solução por vaso. Após as adubações, o solo ficou num período de 40 dias com umidade próximo à capacidade de campo para reação do calcário. A semeadura foi realizada em 01 de setembro de 2021, utilizando-se aproximadamente 50 sementes em cada unidade experimental (vaso). Realizou-se um desbaste no dia 15º após a semeadura, e foram mantidas sob irrigação cinco plantas por vaso para o início das avaliações experimentais.

## **2.2 Delineamento experimental**

Foi delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial  $6 \times 2 \times 5$ , seis forrageiras *Panicum maximum*: BRS Tamani, PM422; PM408; BRS Zuri; PM414; PM406; duas doses de P 19 e  $116 \text{ mg dm}^{-3}$  e cinco doses de calcário 0, 326, 653, 1306 e  $2612 \text{ mg dm}^{-3}$  com três repetições, o vaso foi considerado a unidade experimental, com volume de  $2,55 \text{ dm}^3$  de solo. Para facilitar o entendimento das respostas, se estabeleceram dois grupos para as forrageiras, sendo primeiro de porte baixo (Tamani, PM422 e PM408) e o segundo de porte médio (Zuri, PM414 e PM406), segundo seus valores semelhantes na altura de crescimento em vasos de cultivares lançados ao mercado BRS Tamani e BRS Zuri.

## **2.3 Avaliações**

### **2.3.1 Produção de forragem**

Na fase de implantação foi feito um corte, aos 58 dias após a semeadura. Os demais cortes aconteceram em intervalos fixos de 28 dias para quantificação da massa seca, até completar os cinco cortes. Foram determinadas duas alturas de cortes para as cultivares, 15 cm para plantas de porte baixo (Tamani; PM422 e PM408) e 20 cm para plantas de porte médio (Zuri, PM414 e PM406). Depois de cada corte as amostras foram levadas à estufa e submetida a circulação forçada de ar a  $55^\circ \text{ C}$  por 72 horas.

### **2.3.2 Características morfológicas e estruturais**

Para avaliação das características morfológicas, foram marcados aleatoriamente dois perfilhos em cada unidade experimental e medidos com régua graduada em centímetros. Os perfilhos foram substituídos a cada 28 dias após cada corte. A cada 21 dias se tomaram medidas do colmo; do comprimento da folha (da ponta da folha até sua lígula) e número de folhas vivas

por perfilho (NFV, folha perfilho<sup>-1</sup>). O conjunto de dados coletados determinaram as taxas morfogênicas como: taxa de aparecimento de folhas (TApF, cm perfilho<sup>1</sup> dia) obtida pela quantidade de folhas surgidas por perfilho dividido pelo número de dias do período de avaliação, o Filocrono (FIL, dias folha<sup>-1</sup>) é o intervalo de tempo para o aparecimento de duas folhas consecutivas.

Para taxa de alongamento de folhas (TAIF, cm perfilho<sup>1</sup> dia) foi calculado pelo somatório de alongamento total (cm) de lâminas foliares pelo número de dias do período de avaliação. Para duração de vida das folhas (DVF, dia): foi o prazo entre o aparecimento da folha até sua morte. Considerando-se seu valor por meio da equação recomendada por Lemaire e Chapman (1996):  $DVF = NFV \times \text{Filocrono}$ . A combinação dessas características morfogênicas determina as três principais características estruturais do dossel forrageiro, densidade populacional de perfilho (DPP), NFV e comprimento final da folha (CFF, cm). A taxa de alongamento de colmo (TAIC, cm perfilho<sup>1</sup> dia), é a variação média no comprimento do colmo/pseudocolmo durante o período de avaliação. CFF: comprimento médio das lâminas foliares completamente expandidas, sendo comensurado desde o ápice foliar até a lígula. O NFV é obtido pelo número de folhas em expansão e expandidas, não considerando as folhas senescentes.

### **2.3.3 Densidade populacional de perfilhos**

Para densidade populacional de perfilho (DPP) foram contados todos os perfilhos de cada unidade experimental. No 45° dia após a semeadura foi realizada a primeira avaliação e as demais com intervalo de 28 dias, antes de cada corte.

### **2.3.4 Massa seca de raízes**

Para obtenção da massa seca de raízes de cada forrageira, as mesmas foram retiradas de cada vaso após o quinto corte de avaliação, separando o solo das raízes, e posteriormente submetidos a lavagem com água corrente, utilizando duas peneiras com dimensões de 2,00 e 1,00 mm no tecido da malha com a finalidade de reter as raízes. Prosseguindo, as raízes foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa com temperatura de 65°C por 7 dias, até seu peso constante.

## 2.4 Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância de acordo com o seguinte modelo:

$Y_{ijkl} = \mu + bj + ci + dk + el + (cd)_{ik} + (ce)_{il} + (de)_{kl} + (cde)_{ikl} + \varepsilon_{ijkl}$ . Em que:  $Y_{ijkl}$  = Valor observado no bloco  $j$ , no forrageira  $i$ , na dose  $Pk$ ; na dose calcário  $l$ ;  $\mu$  = Efeito médio geral;  $b_j$  = Efeito do bloco  $j$ ;  $c_i$  = Efeito da forrageira  $i$ ;  $d_k$  = Efeito da dose  $Pk$ ;  $e_l$  = Efeito da dose calcário  $l$ ;  $(cd)_{ik}$  = Efeito da interação forrageira x dose  $P$ ;  $(ce)_{il}$  = Efeito da interação forrageira x dose calcário;  $(de)_{kl}$  = Efeito da interação dose  $P$  x dose calcário;  $(cde)_{ikl}$  = Efeito da interação forrageira x dose  $P$  x dose calcário;  $\varepsilon_{ijkl}$  = Erro experimental associado a observação  $Y_{ijkl}$ .

Foi avaliado pelo teste de Tukey a 5% de significância. Os dados foram agrupados por forrageiras de porte baixo e médio, após submetidos à análise de variância, realizou-se análise do desdobramento para as interações forrageira\*fósforo\*calcário; forrageira\*fósforo; forrageira\*calcário; fósforo\*calcário, as interações que não deram significância foram analisadas isoladamente.

Para doses de calcário modelos lineares e quadráticos foram testados e selecionou-se modelo de acordo com a significância dos coeficientes de regressão, adotando-se 5% de probabilidade. Para a análise utilizou-se o programa de análise estatística e planejamento SISVAR versão 5.7.

## 3. RESULTADOS

**Tabela 2.** Significância das variáveis em *Panicum maximum* de porte baixo.

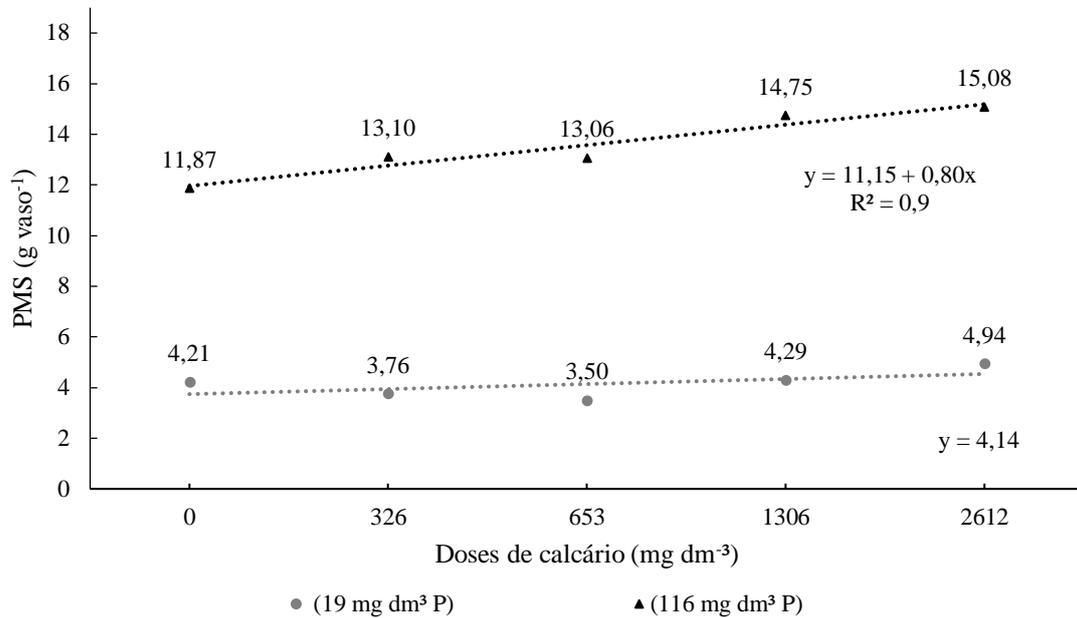
	MS	MSR	TApF	TAIF	DVF	TAIC	CFF	DPP	NFV	FIL
F*P*C	0,8866	0,4667	0,2399	0,8858	0,2119	1,0000	0,6889	0,0588	0,4035	0,2313
F*P	0,1033	0,3323	0,0656	0,3938	0,0353	0,656	0,0737	<0.0001	0,0038	0,0089
F*C	0,8863	0,9613	0,9836	0,9894	0,3598	0,9996	0,9846	0,3154	0,9989	0,8637
P*C	0,0384	0,6584	0,3348	0,8247	0,3625	0,9126	0,9716	0,0447	0,5578	0,1750
F	0,5640	0,6657	0,0001	0,0004	0,0005	0,8984	0,0005	<0.0001	0,0331	0,0018
P	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0,0002	<0.0001	0,0124	0,5344	<0.0001	0,4047	<0.0001
C	0,0001	0,1325	0,3937	0,9214	0,0004	0,9378	0,6344	<0.0001	0,3870	0,0703
Bloco	0,2572	0,4955	0,7772	0,4940	0,7047	0,9769	0,7382	0,0556	0,6950	0,8719
CV%	36,38	22,29	34,59	60,27	28,46	187,27	32,28	31,41	29,05	39,40

F - Forrageira; P - Fósforo; C - Calcário; MS - Massa seca; MSR - Massa seca de raízes; TApF - Taxa de aparecimento de folha; TAIF - Taxa de alongamento de folha; DVF - Duração de vida das folhas; TAIC - Taxa de alongamento do colmo; CFF - Comprimento final das folhas; DPP - Densidade populacional de perfilhos; NFV - Número de folhas vivas; FIL - Filocrono; CV - Coeficiente de variação.

### Resultado de *Panicum maximum* de porte baixo

Houve interação fósforo\*calcário para PMS (P=0,0384). Verificou-se resposta linear crescente na dose P116, com maiores valores de 11,87, 13,10, 13,06, 14,75 e 15,08 g vaso<sup>-1</sup>,

com acréscimo de aproximadamente 27% entre a menor e maior dose de calcário. Valores entre os níveis de calcário não diferiram entre si na dose P19 (Figura 1).

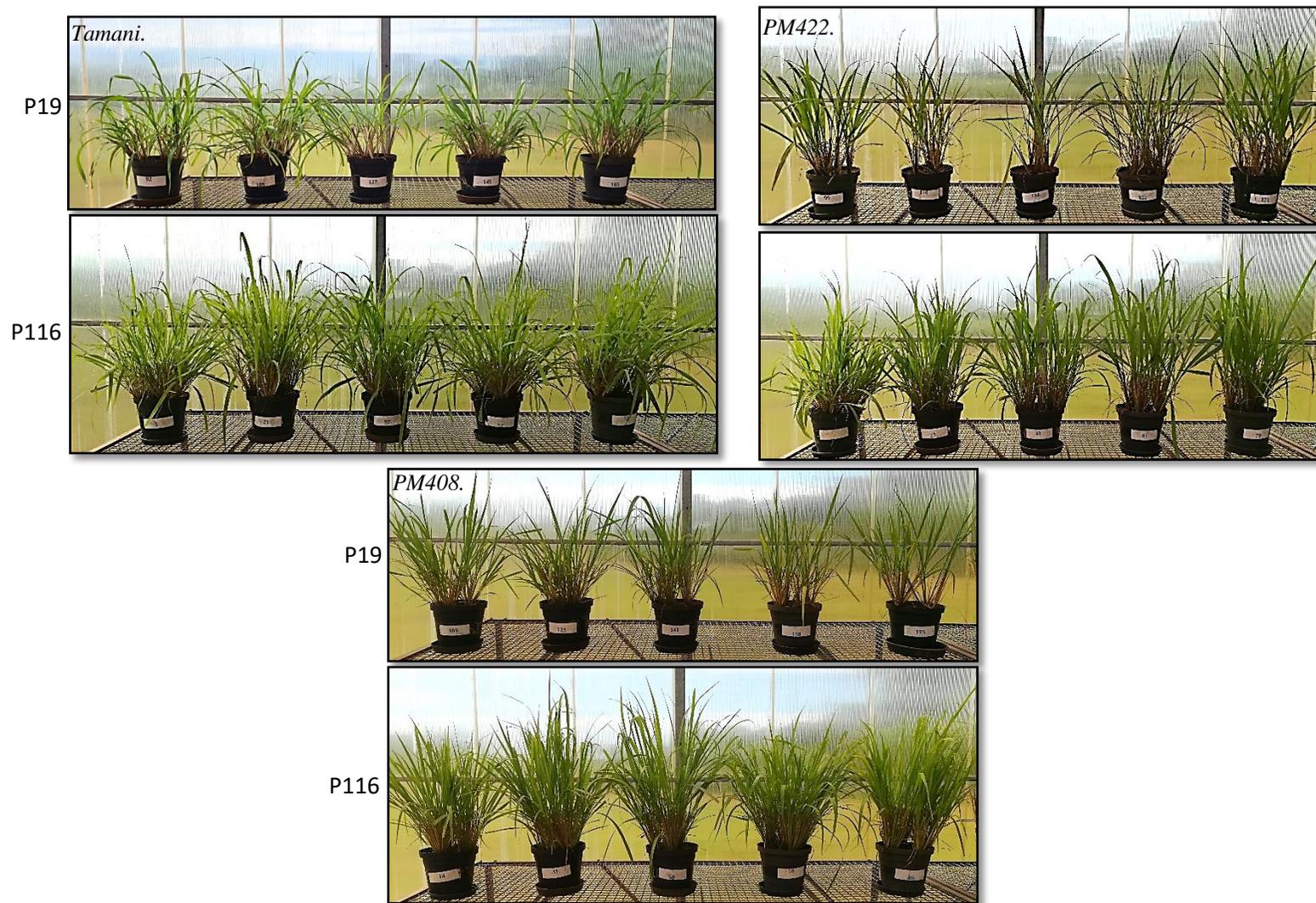


**Figura 1.** Produção de massa seca de forragem em função da interação fósforo\*calcário em forrageiras de *Panicum maximum* de porte baixo.

**Tabela 3.** Características químicas do solo no final do experimento.

Doses P	Calcário mg dm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sup>2</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>	H+Al	S	T	t	V	m	MO	PM1
19	0	4,21	0,17	0,14	0,62	0,67	6,10	0,93	7,03	1,60	13,60	42,01	2,77	0,65
	326	4,27	0,34	0,28	0,66	0,52	5,30	1,28	6,58	1,80	19,62	28,67	2,82	0,60
	653	4,36	0,54	0,52	0,74	0,35	5,69	1,80	7,49	2,15	24,39	16,42	2,83	0,67
	1306	4,89	1,04	0,95	0,62	0,10	4,68	2,61	7,29	2,71	36,06	3,72	2,60	0,59
	2612	5,41	1,82	1,53	0,58	0,05	4,02	3,92	7,95	3,97	49,52	1,22	2,71	0,61
116	0	4,22	0,19	0,12	0,19	0,64	4,96	0,50	5,47	1,14	9,27	56,03	2,94	3,77
	326	4,32	0,35	0,19	0,14	0,50	5,16	0,68	5,84	1,18	11,80	42,51	3,10	3,43
	653	4,39	0,54	0,29	0,15	0,35	4,64	0,99	5,62	1,34	17,62	26,23	2,95	3,77
	1306	4,67	0,94	0,54	0,12	0,18	4,60	1,61	6,21	1,79	25,98	10,14	2,90	3,09
	2612	5,33	1,71	1,09	0,14	0,06	3,54	2,94	6,48	3,00	45,32	2,02	2,78	2,49

Doses de P: 19; 116 = mg dm<sup>-3</sup> vaso<sup>-1</sup>. Doses de calcário: 0; 326; 653; 1306 e 2612 = mg dm<sup>-3</sup> vaso<sup>-1</sup>. S – soma de bases (Ca + Mg + K); T – CTC potencial (H + Al + Ca + Mg + K); t – CTC efetiva (Ca + Mg + K + Al); V – Saturação por bases [(S/T) \* 100; m – Saturação por alumínio (Al/t)\*100; MO – matéria orgânica. Onde: P. Ca e Mg Mehlich I; Al e KCl 1mol; H+Al Phmetro por solução tampão SMP; MO matéria orgânica Dakota do sul modificado.



**Figura 2.** Resposta de produção de forragem em função da interação fósforo\*calcário em forrageiras de porte baixo de *Panicum maximum*. Doses de P dispostos na sequência crescente foto de acima para abaixo 19 e 116 mg dm<sup>-3</sup>. Doses de calcário dispostos na sequencia crescente de esquerda para direita 0, 326, 653, 1306 e 2612 mg dm<sup>-3</sup>. Embrapa Gado de Corte. (Frontado, 2022).

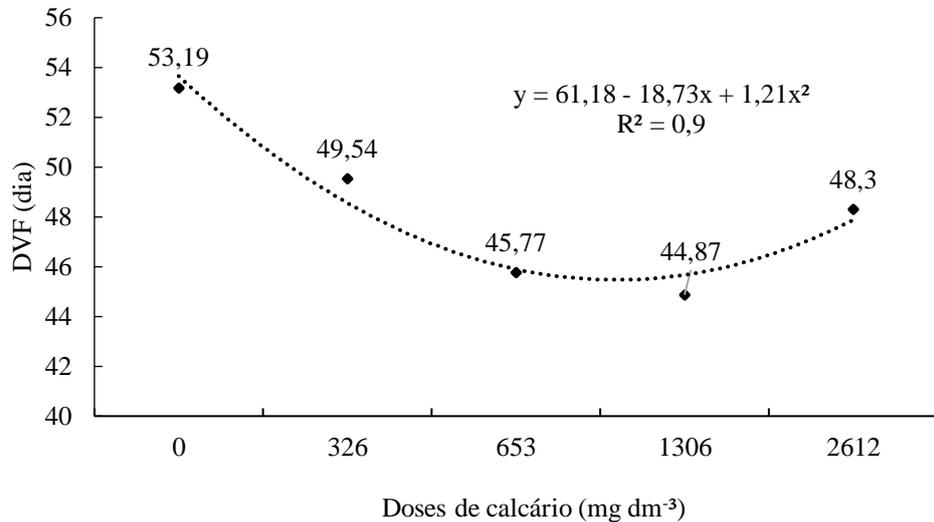
Houve influência para TAlF em função da forrageira ( $P=0,0004$ ), maiores valores e semelhantes entre si de 4,11 e 3,79 cm perfilho<sup>-1</sup> dia, foram observados no PM422 e Tamani, respectivamente (Tabela 5). Para TApF houve influência da forrageira ( $P=0,0001$ ), observando-se maior valor de 0,11 folha perfilho<sup>-1</sup> dia no PM422, e menores valores e semelhantes de 0,10 e 0,09 folha perfilho<sup>-1</sup> dia no Tamani e PM408, respectivamente (Tabela 5). Houve influência da forrageira para CFF ( $P=0,0005$ ), comprovando-se maior comprimento de 19,12 cm, no PM422, e menor valor de 16,52 cm, no PM408 (Tabela 5).

**Tabela 4.** Taxa de alongamento da folha, taxa de aparecimento da folha e comprimento final da folha em *Panicum maximum* de porte baixo em função da forrageira.

Forrageira	TAlF (cm perfilho <sup>-1</sup> dia)	TApF (dia)	CFF (cm)
Tamani	3,79a	0,10b	18,00ab
PM422	4,11a	0,11a	19,12a
PM408	3,11b	0,09b	16,52b
P-valor	0,0004	0,0001	0,0005
Média	3,67	0,10	17,88

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. TAlF – taxa de alongamento de folha; TApF – taxa de aparecimento de folha; CFF – comprimento final da folha.

Houve comportamento quadrático às doses de calcário, sendo obtido maior DVF (53,19 dias) na ausência de calcário, e sendo verificado ponto de inflexão com tendência positiva na dose 1306 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 3).



**Figura 3.** Duração de vida das folhas em *Panicum maximum* de porte baixo em função de doses de calcário.

Houve interação forrageira\*fósforo ( $P=0,0038$ ) (Tabela 2), para NFV, verificando-se maiores valores na interação PM422\*P116 e Tamani\*P19 (4,77 e 4,98 folhas perfilho<sup>-1</sup>, respectivamente). Menores valores foram observados em PM408\*P116 e PM422\*P19 (4,21 e 4,32 folhas perfilho<sup>-1</sup>, respectivamente) (Tabela 6). Valores de NFV para o forrageira PM408 não diferiram entre si estatisticamente quando foi adubado com P. Para DVF ( $P=0,0353$ ), foram observados maiores valores na interação Tamani\*P116 (60,54 dias), já para a dose P19, maior DVF e semelhantes entre si, foram notados no PM408 e Tamani (43,01 e 41,92 dias, respectivamente) (Tabela 6).

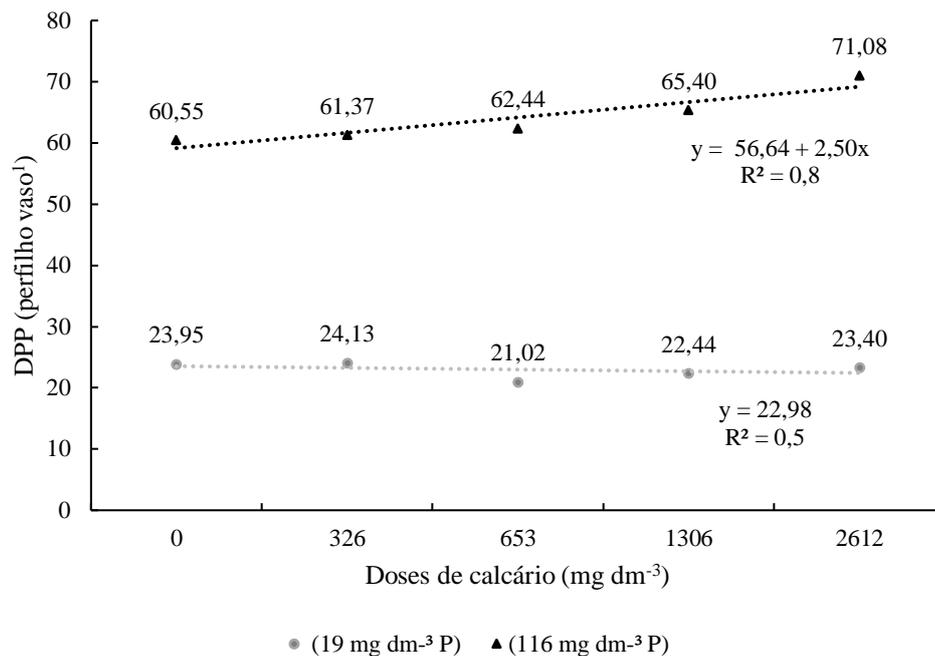
Entretanto para FIL ( $P=0,0089$ ), foram observados maiores valores na interação Tamani\*P116 e PM422\*P116 (14,44 e 13,83 dias, respectivamente), menores no Tamani\*P19 e PM422\*P19 (9,26 e 9,57 dias, respectivamente) (Tabela 6). Houve efeito para DPP ( $P<0,0001$ ) (Tabela 2). Maiores valores de perfilhamento foram encontrados na dose P116 (74,53 e 72,25 perfilhos vaso<sup>-1</sup>, no PM408 e Tamani, respectivamente), na dose P19 (29,66 perfilhos vaso<sup>-1</sup>, no PM408). Menor perfilhamento dentro das doses de P foi observado no PM422 (Tabela 6).

**Tabela 5.** Interação forrageira\*fósforo sobre número de folhas vivas, duração de vida da folha, filocrono e densidade populacional de perfilho em *Panicum maximum* de porte baixo.

Forrageira	Doses de P (mg dm <sup>-3</sup> )		P-valor
	19	116	
	NFV (folhas perfilho <sup>-1</sup> )		
Tamani	4.98aA	4.42abB	0,0094
PM422	4.32bB	4.77aA	0,0380
PM408	4.41bA	4.21bA	0,3599
P-valor	0,0039	0,032	
Média	4,57	4,46	
	DVF (dia)		
Tamani	41.92aB	60.54aA	<0.0001
PM422	35.76bB	54.32bA	<0.0001
PM408	43.01aB	54.45bA	<0.0001
P-valor	0,0026	0,0071	
Média	40,23	56,43	
	FIL (dia)		
Tamani	9.26bB	14.44aA	0,0004
PM422	9.57abB	13.83aA	0,0051
PM408	11.17aB	11.68bA	<0.0001
P-valor	0,0245	0,0007	
Média	10,00	13,31	
	DPP (perfilho vaso <sup>-1</sup> )		
Tamani	24.37bB	72.25aA	<0.0001
PM422	14.93cB	45.73bA	<0.0001
PM408	29.66aB	74.53aA	<0.0001
P-valor	<0.0001	<0.0001	
Média	22,98	65,17	

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. NFV – número de folhas vivas; DVF – duração de vida da folha; FIL – filocrono; DPP - densidade populacional de perfilho.

Houve efeito da interação fósforo\*calcário sobre DPP (P=0,0447) (Tabela 2). Foi notado resposta linear crescente para DPP na dose P116, observando-se maior perfilhamento na dose 2612 mg dm<sup>-3</sup> de calcário (71,08 perfilhos vaso<sup>-1</sup>) e menor DPP na ausência de calcário (60,55 perfilhos vaso<sup>-1</sup>). Já para a dose P19, não houve efeito das doses de calcário (P=0,8124), foi estimada uma média de 22,98 perfilhos vaso<sup>-1</sup> (Figura 4).



**Figura 4.** Interação fósforo\*calcário para DPP em *Panicum maximum* de porte baixo.

Houve efeito da adubação de P sobre TApF proporcionou maior valor de 0,12 dia (P19) e menor 0,09 dia (P116). Doses de P influenciaram a TAIF, com maior valor de 4,05 cm perfilho<sup>-1</sup> dia (P19) e menor 3,28 (P116). Já para TAIC houve efeito ( $P=0,0124$ ) verificando-se maior valor (0,07 cm perfilho<sup>-1</sup> dia) na dose de P19, e menor (0,04 cm perfilho<sup>-1</sup> dia) na dose de P116 (Tabela 4). Houve efeito das doses de P sobre MSR ( $P<0,0001$ ), observando-se médias de 6,82 e 27,84 g vaso<sup>-1</sup> (19 e 116 mg dm<sup>-3</sup> de P, respectivamente) (Tabela 4).

**Tabela 6.** Taxa de aparecimento de folha, taxa de alongamento de folha, taxa de alongamento do colmo e massa seca de raízes de *Panicum maximum* porte baixo em função do P

Variável	Doses de P (mg dm <sup>-3</sup> )		P-valor	EMP
	19	116		
TApF	0,12a	0,09b	<0,0001	0,002
TAIF	4,05a	3,28b	0,0002	0,014
TAIC	0,07a	0,04b	0,0124	0,008
MSR	6,82b	27,84a	<0,0001	0,576

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. MSR – Massa seca de raízes; TAIC – taxa de alongamento do colmo; TAIF – taxa de alongamento de folhas; TApF – taxa de aparecimento de folha.

## Resultados de *Panicum maximum* de porte médio

**Tabela 7.** Significância das variáveis em *Panicum maximum* de porte médio.

	MS	MSR	TApF	TAIF	DVF	TAIC	CFF	DPP	NFV	FIL
F*P*C	0,8788	0,3944	0,7714	0,9712	0,0610	0,9979	0,7503	0,0032	0,7824	0,5922
F*P	0,1079	<0,0001	0,2915	0,6807	0,2570	0,4514	0,6640	<0,0001	<0,0001	0,5818
F*C	0,9952	0,6755	0,9771	0,9676	0,4438	0,9995	0,6530	0,1956	0,9618	0,9598
P*C	0,1817	0,2123	0,9848	0,9103	0,0967	0,9772	0,6334	<0,0001	0,5222	0,9253
F	0,0059	0,0213	0,6298	0,0006	<0,0001	0,7629	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,7271
P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0814	0,0017	0,0069	0,2780	<0,0001	0,3338	0,0291
C	<0,0001	0,4697	0,9271	0,8659	0,2583	0,9403	0,5700	<0,0001	0,8404	0,6185
Bloco	0,9049	0,4591	0,8614	0,9630	0,7098	0,8920	0,9452	0,3615	0,6483	0,8751
DP %	32,33	21,52	37,45	53,32	32,63	175,17	27,89	22,35	23,87	39,86

F - Forrageira; P - Fósforo; C - Calcário; MS - Massa seca; MSR - Massa seca de raízes; TApF - Taxa de aparecimento de folha; TAIF - Taxa de alongamento de folha; DVF - Duração de vida das folhas; TAIC - Taxa de alongamento do colmo; CFF - Comprimento final das folhas; DPP - Densidade populacional de perfilhos; NFV - Número de folhas vivas; FIL - Filocrono; DP = desvio padrão;

Houve efeito da forrageira sobre PMS, sendo observado maior valor no Zuri, e menores e semelhantes no PM414 e PM406 (11,09; 10,09 e 9,93 g vaso<sup>-1</sup>, respectivamente) (Tabela 8). Houve efeito da forrageira para TAIF (P=0,0006), sendo observados maiores valores de 5,26 e 5,04 cm perfilho<sup>1</sup> dia no Zuri e PM406, respectivamente (Tabela 8). A DVF foi influenciada pelo fator forrageira (P<0,0001) sendo observados valores de 59,70; 54,76 e 47,93 dias no PM414; PM406 e Zuri, respectivamente (Tabela 8). Já para CFF houve efeito da forrageira (P<0,0001), notando-se maior comprimento de 25,38 cm no Zuri, e menor valor de 18,81 cm para PM414 (Tabela 8).

**Tabela 8.** Produção de massa seca, taxa de alongamento de folha, duração de vida da folha e comprimento final da folha de *Panicum maximum* de porte médio em função da forrageira

Forageira	PMS (g vaso <sup>-1</sup> )	TAIF (cm perfilho <sup>-1</sup> dia)	DVF (dia)	CFF (cm)
Zuri	11,09a	5,26a	47,93c	25,38a
PM414	10,09b	4,17b	59,70a	18,81c
PM406	9,93b	5,04a	54,76b	22,70b
EMP	0,274	0,21	1,177	0,507
P-valor	0,0059	0,0006	<0,0001	<0,0001
DP %	36	53	32	27
Média	10,37	4,82	53,82	22,29

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. EMP= erro médio padrão. DP = desvio padrão; PMS - produção de massa seca; TAIF - taxa de alongamento de folha; DVF - duração de vida da folha; CFF - comprimento final da folha.

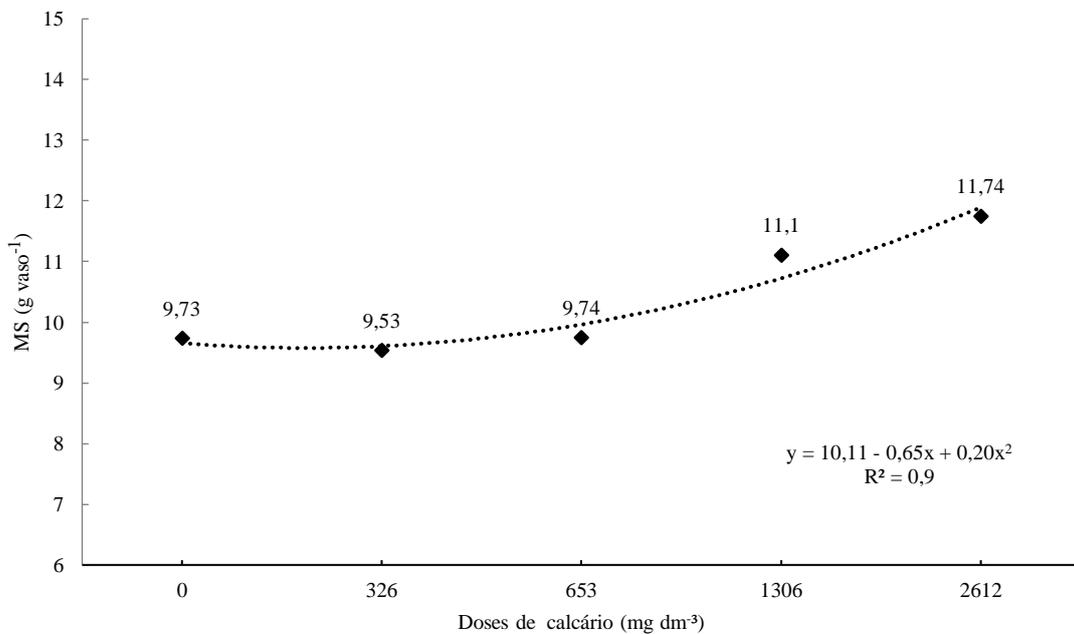
O fornecimento de P promoveram aumentos na PMS ( $P < 0,0001$ ), observando valores de 4,81 e 15,93 g vaso<sup>-1</sup> (em P19 e P116, respectivamente) (Tabela 9). Houve efeito das doses de P sobre TApF ( $P < 0,0001$ ), sendo o maior valor foi observado na dose P19 (0,11 folha perfilho<sup>-1</sup> dia), e menor na dose P116 (0,09 folha perfilho<sup>-1</sup> dia) (Tabela 9). Doses de P promoveram aumentos sobre DVF ( $P = 0,0017$ ), observando maior valor na dose P116 (56,76 dias), e menor na dose P19 (51,50 dias) (Tabela 9). Para filocrono houve influência das doses de P ( $P = 0,0291$ ), maior valor no P116 (12,49 dias), e menor no P19 (11,50 dias) (Tabela 9). Já para TAIC houve efeito das doses de P ( $P = 0,0069$ ), sendo notado maior valor na dose P19 (0,11 cm perfilho<sup>1</sup> dia), e menor na dose P116 (0,07 cm perfilho<sup>1</sup> dia) (Tabela 9).

**Tabela 9.** Produção de massa seca, taxa de aparecimento da folha, duração de vida da folha, filocrono, taxa de alongamento de colmo de *Panicum maximum* de porte médio em função das doses de P.

Variável	Doses de P (mg dm <sup>-3</sup> )				
	19	116	P-valor	DP %	EMP
PMS (g vaso <sup>-1</sup> )	4,81b	15,93a	<0,0001	32	0,224
TApF (folha perfilho <sup>1</sup> dia)	0,11a	0,09b	<0,0001	37	0,002
DVF (dia)	51,50b	56,76a	0,0017	32	1,177
FIL (dia)	11,50b	12,49a	0,0291	39	0,318
TAIC (cm perfilho <sup>1</sup> dia)	0,11a	0,07b	0,0069	175	0,010

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. DP = desvio padrão; EMP = erro médio padrão; PMS – produção de massa seca; DVF – duração de vida da folha; FIL – filocrono; TAIC – taxa de alongamento do colmo; TApF – taxa de aparecimento de folha.

As doses de calcário promoveram incrementos na PMS (Figura 5), sendo verificado comportamento quadrático com valores de 9,73; 9,53; 9,74; 11,10 e 11,74 g vaso<sup>-1</sup> de PMS para as doses de 0; 326; 653; 1306 e 2612 mg dm<sup>-3</sup> de calcário, respectivamente.



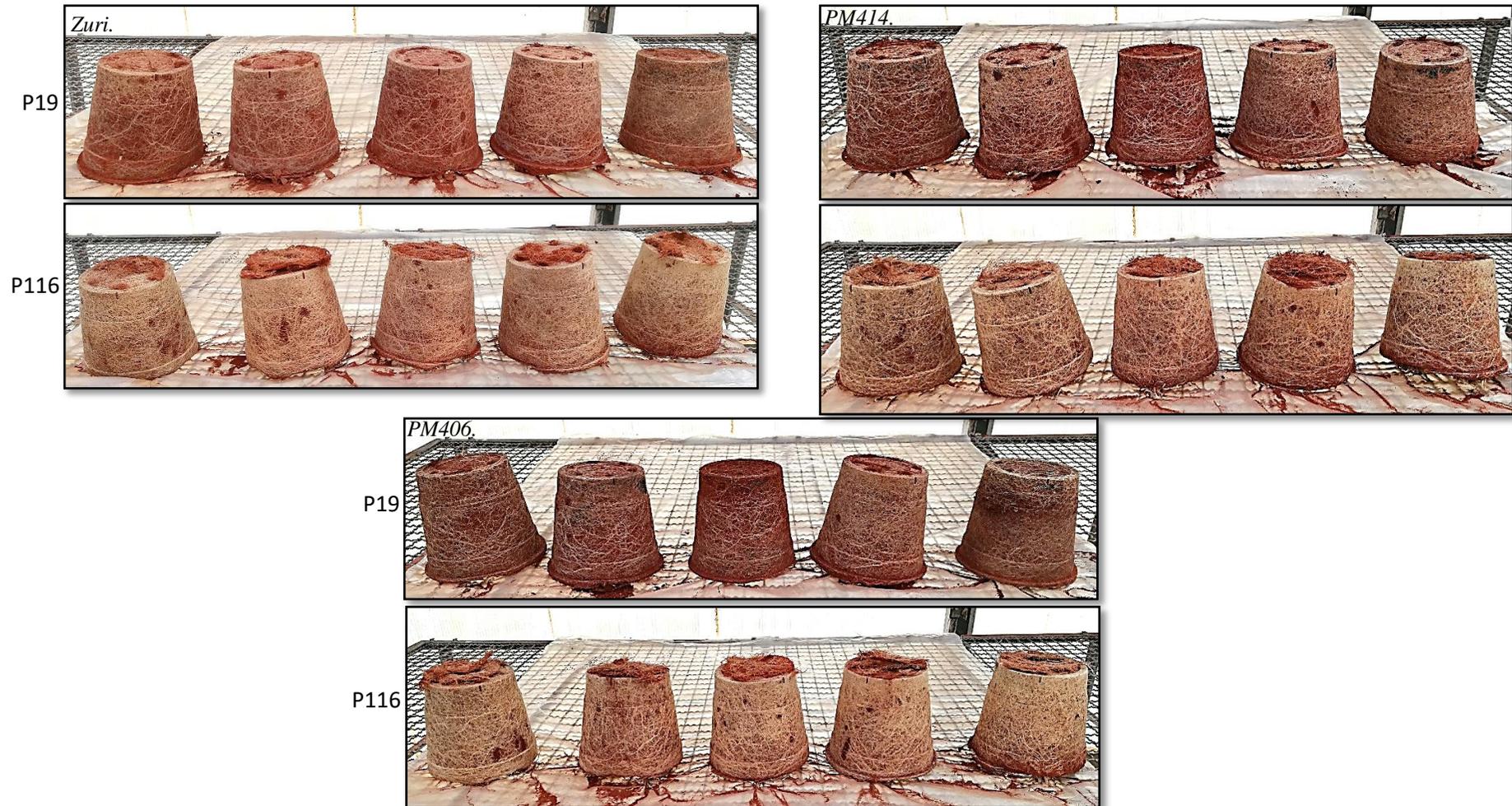
**Figura 5.** Produção de massa seca de *Panicum maximum* porte médio em função de doses de calcário.

Houve interação forrageira\*fósforo ( $P < 0,0001$ ) para NFV, notando-se maior valor na interação PM414\*P19 (6,01 folhas perfilho<sup>-1</sup>) e menor na interação Zuri\*P19. Valores de NFV para o forrageira PM406 não diferiram entre si quando foi adubado com P (Tabela 10). Houve efeito significativo para MSR ( $P < 0,0001$ ), observando-se maiores valores de 34,75 e 12,35 g vaso<sup>-1</sup> (na interação PM406\*P116 e PM414\*P19, respectivamente), e menores valores de 28,47 e 27,82 g vaso<sup>-1</sup> (PM414 e Zuri, respectivamente, na dose P116), na dose P19, menor valor de 8,53 g vaso<sup>-1</sup> foi notado no PM406 (Tabela 10).

**Tabela 10.** Interação forrageira\*fósforo sobre número de folha vivas e massa seca de raízes de *Panicum maximum* de porte médio.

Forrageira	Doses de P (mg dm <sup>-3</sup> )		P-valor
	19	116	
	NFV (folhas perfilho <sup>-1</sup> )		
Zuri	4,10cB	4,52bA	0,0275
PM414	6,01aA	5,09aB	<0,0001
PM406	4,89bA	5,06aA	0,3695
P-valor	<0,0001	0,0046	
Média	5,00	4,89	
	MSR (g vaso <sup>-1</sup> )		
Zuri	9,06abB	27,82bA	<0,0001
PM414	12,35aB	28,47bA	<0,0001
PM406	8,53bB	34,73aA	<0,0001
P-valor	0,0399	<0,0001	
Média	9,98	30,34	

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. NFV – número de folhas vivas; MSR – massa seca de raízes



**Figura 6.** Massa seca de raízes em função da interação forrageira\*fósforo de *Panicum maximum* de porte médio. Doses de P dispostos na sequência crescente de acima para abaixo 19 e 116 mg dm<sup>-3</sup>. Doses de calcário dispostos na sequência crescente de esquerda para direita 0, 326, 653, 1306 e 2612 mg dm<sup>-3</sup>. Embrapa Gado de Corte. (Frontado, 2022).

Houve interação forrageira\*fósforo\*calcário (G\*P\*C) para DPP (P=0,0032). Maiores valores e semelhantes entre si (31,00 e 28,86 perfílios vaso<sup>-1</sup>) foram observadas no PM406 e PM414, respectivamente na dose P116 associada à dose de 2612 mg dm<sup>-3</sup> de calcário. Menor número de perfílios de 5,66 e 5,60 perfílios vaso<sup>-1</sup> foram observados no Zuri na dose de P19 associado as doses de 653 mg dm<sup>-3</sup> e 2612 mg dm<sup>-3</sup> de calcário, respectivamente (Tabela 11). Comportamento quadrático foram observadas para DPP nas forrageiras quando foi aplicado a dose P116 (Tabela 11). Respostas lineares foram observadas para Zuri e PM414 na dose P19. Na interação de P19 associada à ausência de calcário, valores de perfilhamento não diferiram entre as forrageiras, entretanto quando foi aplicado a dose P116, o PM414 e PM406 foram superiores.

**Tabela 11.** Interação forrageira\*fósforo\*calcário sobre densidade populacional de perfílios em *Panicum maximum* de porte médio.

Forrageira	Calcário (mg dm <sup>-3</sup> )										Equação			
	0		326		653		1306		2612		Doses de P (mg dm <sup>3</sup> )			
	19,26	115,58	19,26	115,58	19,26	115,58	19,26	115,58	19,26	115,58	19,26	R <sup>2</sup>	115,58	R <sup>2</sup>
	DPP (perfilho vaso <sup>1</sup> )													
Zuri	8,80aB	19,80bA	5,86aB	20,00aA	5,66aB	20,33bA	6,53bB	18,80bA	5,60bB	23,73bA	y= 8,21-0,57x	0,4	y= 22,33-2,59x+0,54x <sup>2</sup>	0,6
PM414	7,60aB	26,80aA	7,00aB	22,40aA	6,80aB	26,32aA	9,86aB	26,40aA	9,40abB	28,86aA	y= 6,19+0,64x	0,5	y= 28,44-3,18x+0,66x <sup>2</sup>	0,5
PM406	10,73aB	23,73aA	7,13aB	22,80aA	5,93aB	26,60aA	7,66abB	26,93aA	7,53aB	31,00aA	y= 14,49-4,81x+0,70x <sup>2</sup>	0,8	y= 24,09-1,16x+0,50x <sup>2</sup>	0,9

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna, maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 %. DPP – densidade populacional de perfilho.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 *Panicum maximum* de porte baixo

Quando se analisa os resultados do fósforo associado ao calcário (Figura 1) se evidencia o efeito potenciador da calagem sobre a produção de forragem. Resultados de PMS comprovam que o aumento em relação às doses de calcário ocorreu quando há maior fornecimento de P (P116), o que corrobora a relação direta da oferta do nutriente e o crescimento inicial da planta, relevantes para as reações fotossintéticas e metabolismo de carbono (SOUZA et al., 2020), sendo fundamentais para a assimilação e utilização de outros nutrientes (Tabela 3). A influência indireta da calagem pode explicar o aumento PMS, maiores teores de P em associação com calagem promoveram, ao final do período experimental, uma condição química do solo inferior aos solos com menores doses de P, tal fato pode estar associado a maior produção de forragem nos tratamentos na maior dose de P e por consequência maior extração de nutriente.

O aumento da PMS é promovido e pode ser explicado, pela dinâmica das características morfogênicas e estruturais. O aumento da TApF e TAlF influenciaram o CFF (Tabela 4), variáveis estreitamente ligadas com o índice de área foliar (IAF), apresentando-se maior aparecimento, alongamento e comprimento de folha no Tamani e PM422. Quando é analisado o efeito do P sobre as mesmas variáveis, o fornecimento de P19 foi suficiente para promover as maiores taxas (Tabela 6), para TAlC a influência de doses de P foi semelhante. O aumento na DPP nas forrageiras associadas às doses de P (Tabela 5), pode ser explicada, pelo fato em que o perfilhamento obedece à velocidade da emissão de folhas (TApF). A gema axilar em cada folha, é potencialmente capaz para originar um novo perfilho, sendo que, a TApF é variante a mudanças nas condições ambientais, nutrição e práticas de manejo (CHAPMAN; LEMAIRE, 1993) o que pode explicar o aumento em função de P. Já quando se analisou a interação, o P116 promoveu maior perfilhamento nas forrageiras (Tabela 5). O PM422 apresentou menor DPP, apesar de ter o maior valor na TApF (Tabela 4), a alta diferença em relação às demais forrageiras (Tamani e PM408) pode ser consequência de a presença da mancha foliar (*Cercospora fusimaculans*) no PM422. O que poderia ter diminuído a capacidade fotossintética da planta, e influenciado negativamente na variável, podendo elucidar susceptibilidade da forrageira ao fungo. Porém, serão necessários mais trabalhos sobre a resistência da forrageira à doença. Avaliando o efeito do fósforo associado ao calcário sobre DPP (Figura 4), encontrou-se maior perfilhamento quando o P foi maior (P116) com aumentos crescentes no decorrer das doses de calcário. Isso ocorre porque a calagem minimiza a fixação do fósforo, e impede a precipitação com o alumínio e micronutrientes catiônicos (Cu, Fe, Mn e Zn) aumentando assim, a capacidade de troca catiônica, indisponibilizando o alumínio tóxico e gerando maior absorção

do P aplicado (MIOTTO et al., 2019). A DVF em P19, foi menor (Tabela 6) quando a TAIF foi maior (Tabela 5), independentemente da forrageira, o que evidencia uma relação negativa entre essas variáveis. Isso pode ser explicado pelo maior uso do P para renovação de tecidos, o que irá aumentar a taxa de alongamento em detrimento da DVF, fato que também pode ser corroborado quando é analisado o efeito das doses crescentes de calcário (Figura 3). Quando foi analisada o efeito forrageiras, o PM422 apresentou menores valores de DVF dentro das doses de P (Tabela 6), pode-se assumir que a ocorrência do fungo (*Cercospora fusimaculans*) poderia ter diminuído o número de dias na forrageira. A DVF e TApF influenciam diretamente o NFV, é uma variável estável e dependente da espécie (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996). Ao analisar a forrageira associada ao fósforo, observou-se que o Tamani e PM422 foram superiores para NFV e TApF. Já para DVF e NFV resultados observados não corroboram a relação que existe entre as variáveis, esse fato pode ser explicado pela presença do fungo no PM422, sendo afetando negativamente a DVF (Tabela 5). Já para o FIL apresentou menores valores na dose P19 (Tabela 5), valores são coerentes com a maior TApF (Tabela 6) sendo que, a menor intervalo entre o surgimento de duas folhas, maior aparecimento de folhas.

A adubação fosfatada influencia a MSR, proporcionando aumentos de aproximadamente 308% quando o fornecimento do P foi maior (Tabela 6). O aumento deve-se ao fato de que as plantas estarem em condições ótimas de nutrição, particularmente no que concerne ao fósforo. De acordo com (TORRES et al., 2016) o nutriente estimula o aumento de fotoassimilados, que são redistribuídos para o aumento da MSR.

#### **4.2 *Panicum maximum* de porte médio**

Resultados foram positivos quando houve adubação fosfatada, com incremento na PMS de aproximadamente 231%, o aumento pode ser explicado, por meio da dinâmica do fluxo de tecido (morfogênese), sendo um instrumento auxiliar para entender o processo de crescimento, desenvolvimento e perfilhamento das plantas forrageiras quando são fertilizadas (NETO et al., 2020). Ao avaliar o efeito da calagem, este proporcionou comportamento quadrático com ponto de inflexão positiva a partir da dose  $653 \text{ mg dm}^{-3}$ . A calagem promove a troca de cátions básicos (Ca, Mg, K, Na) e indisponibiliza o alumínio tóxico, favorecendo assim, a absorção do fósforo pelas forrageiras (MIOTTO et al., 2019). Outro aspecto de caráter responsivo na variável é o fornecimento de N-K (ALMEIDA et al., 2018), por meio da adubação de manutenção durante o experimento com forrageiras de *Panicum maximum*. Ao avaliar o efeito das forrageiras maiores PMS foi notado para o Zuri.

A TApF foi influenciada pela adubação fosfatada (Tabela 9) os valores são inversamente proporcionais às doses de P, e são coerentes com valores de FIL, sendo que a menor intervalo de tempo entre o surgimento de duas folhas aumenta o aparecimento. Os valores de TAlF e CFF no porte médio corroboram a relação positiva das duas variáveis sobre PMS (Tabela 8), sendo características importantes em forrageiras na condição de pré-lançamento quando avaliadas sua capacidade de resposta em função do P. Resultados corroboram que entre maior alongamento e comprimento da folha, menor DVF (Tabela 8). Esta dinâmica poder ser explicada pelo fato em que a maior uso do P para transferência de energia e multiplicação celular por meio da mitose, aumenta o alongamento da folha em prejuízo da DVF (REZENDE et al., 2011), observando-se maiores valores no PM414. Valores de NFV (Tabela 10) são congruentes com DVF, sendo que, dias maiores de vida gera a possibilidade de uma quantidade maior de folhas vivas. Valores maiores de TAIC com menor disponibilidade de P deve-se ao fato em que as plantas não conseguem manter as folhas vivas por muito tempo (DVF, Tabela 10) redistribuindo a renovação de tecidos para o alongamento do colmo e aparecimento de folha. A DPP teve comportamento quadrático quando houve maior disponibilidade de P (P116) associado às doses de calcário, em contrapartida menor perfilhamento foi observado quando foi maior (P19), isso pode ser explicado pela participação do P em processos de formação da adenosina trifosfato, responsável pelas reações de transporte e energia para a multiplicação celular. A calagem participa no equilíbrio e disponibilidade de bases, diminuindo as toxicidades por Al, Fe e Mn (MIOTTO et al., 2019), permitindo a absorção do P pelas raízes da planta, resultados comprovam que o aumento na DPP ocorre quando há maior disponibilidade de P, indiferentemente nas doses de calcário.

Adubação fosfatada influencia positivamente a MSR, observando um acréscimo de 204% (média das três forrageiras) quando a dose de P foi maior (Tabela 10). O PM414 teve maior MSR com menor fornecimento de P, evidenciando a pouca exigência de P pela forrageira e tal vez mais adaptada a solos com baixo P, resultados para PM406 parece indicar maior resposta a incrementos no fornecimento de P, e maior quando o fornecimento foi P116, notando-se uma ampla variação de massa quando comparada com as demais forrageiras em função a mudanças na fertilidade no solo.

## 5. CONCLUSÃO

A adubação fosfatada promove aumentos na produção de forragem, perfilhamento e massa de raízes em forrageiras de *Panicum maximum*. A calagem favorece aumentos na produção de forragem, perfilhamento e massa de raízes, conforme se aumenta a disponibilidade

de fósforo. Resultados evidenciam que as forrageiras em fase de pré-lançamento respondem positivamente a aplicação de calcário associado ao fósforo. Resultados em porte baixo indica que o PM422 tende a ter maior TApF, TAlF e CFF, fatores que promovem a PMS. O PM408 tende a ter maior perfilhamento. O PM406 parece responder mais a incrementos de fertilidade do solo com destaque na TAlF, NFV e MSR. O PM414 tal vez seja mais adaptada a solos com baixa disponibilidade de P, estudos em condições de campo e com animais, são necessários para continuar avaliando as respostas dentro do programa de melhoramento de forrageiras tropicais.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo da revisão foi apresentar um panorama literário e discutir enfoques concernentes à resposta da adubação fosfatada e calagem em forrageiras tropicais. O fósforo é um macro nutriente importante na nutrição de plantas e no estabelecimento de plantas forrageiras, sua deficiência em solos brasileiros é alta, somado a alta acidez do solo e a presença de elementos tóxicos, dificulta ainda mais a absorção do fósforo. A calagem é uma das práticas com mais contribuições positivas na química do solo, equilíbrio e disponibilidade de bases, diminuição de elementos tóxicos no solo e disponibilizando o fósforo para ser absorvido pela planta. O projeto experimental concentra-se na avaliação da influência do fósforo e calcário sobre o estabelecimento de forrageiras em fase de pré-lançamento na Embrapa Gado de Corte, tendo cultivares de *Brachiaria* spp. e *Panicum maximum* já lançados para ser comparadas. A busca de forrageiras tropicais, adaptadas a baixa fertilidade no solo, resistência a pragas e doenças, boa produção de sementes, de forragem e capacidade de pressão de pastejo é fundamental no programa de melhoramento de forrageiras para a diversificação das pastagens na América tropical. A contribuição do meu trabalho ajudará ao processo de avaliação e seleção dos programas de melhoramento de forrageiras tropicais de *Brachiaria* spp. e *Panicum maximum*, e o trabalho compreende uma de várias fases de avaliações na instituição de pesquisa, os resultados serão discutidos por pesquisadores da área de nutrição de plantas e fertilidade de solos, se são elegíveis continuaram em outras fases de avaliação agrônômica em campo, e com animais dentro do programa de melhoramento.

## **7. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Gado de Corte), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) pelo apoio.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. M. DE et al. Produção de forragem sob doses de fósforo e nitrogênio. v. 3, n. 1, p. 32–33, 2018.
- BRAZ, T. G. DOS S. et al. Genotypic value in hybrid progenies of *Panicum maximum* Jacq. **Ciencia Rural**, v. 47, n. 9, p. 1–6, 2017. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160599>
- CHAPMAN, D. F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: **Baker, M.J., ed. Grasslands for our world. SIR, Wellington, New Zealand.**, p. 55–64, 1993.
- EUCLIDES, V. P. B. et al. Manejo do pastejo de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf e de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Ceres**, v. 61, p. 808–818, 2014. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461000006>
- GOMES, R. A. et al. Características anatômicas e morfofisiológicas de lâminas foliares de genótipos de *Panicum maximum*. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 46, n. 2, p. 205–211, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000200013>
- IBGE. Censo agropecuario 2017. Resultado definitivos. Censo agropecuario, 2019. **disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/>**, 2022.
- LEMAIRE, D.; CHAPMAN, G. **Tissue flows in grazed plant communities.** In: **The ecology and management of grazing systems**, 1996.
- MIOTTO, A. et al. Soil acidity and aluminum speciation affected by liming in the conversion of a natural pasture from the Brazilian Campos Biome into no-tillage system for grain production. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 66, n. 2, p. 138–151, 2019. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1605164>
- NETO, L. B. DE M. et al. Morphogenesis of cynodon cultivars fertilized with nitrogen. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 2, p. 401–408, 2020. <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n2a2020-42469>
- PAULINO, V. T. et al. **resposta de *Panicum maximum* cv. Massai à níveis de calagem.** Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia. **Anais...2006.**
- PAULINO, V. T. et al. **Níveis de calagem em pastagens de *Panicum maximum* cv. Tanzânia.** 44 Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. **Anais...2007.**
- REZENDE, A. V. DE et al. Morpho-physiological characteristics of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu in response to phosphate fertilization. **Revista Agrarian**, v. 4, n. 14, p. 335–343, 2011.
- RODRIGUES, H. V. M. Fósforo e calagem na produtividade e recuperação do capim Marandu. **Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal. Universidade Federal do Tocantis UFT. Gurupi, Tocantis.**, p. 56, 2010.
- SBRISSIA, A.F., SILVA, S.C. Compensação tamanho/densidade populacional de perfilhos em pastos de capim-marandu. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.37, n. 1, p.35-47, 2008. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982008000100005>
- SOUSA, D. DE et al. Uso de gesso, calcário e adubos para pastagens no cerrado. **Circular Técnica - Embrapa Cerrados**, v. 12, p. 1–22, 2001.

SOUZA, D. J. DE A. T. et al. Efeito de diferentes fontes e solubilidades de fósforo no desenvolvimento e nutrição do capim Mombaça. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 3, p. 72–83, 2020. <https://doi.org/10.5747/ca.2020.v16.n3.a373>

TORRES, F. E. et al. Doses de fósforo no desenvolvimento inicial e produção de forragem de cultivares de *Panicum maximum*. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 6, p. 1537–1544, 2016. <https://doi.org/10.14393/BJ-v32n6a2016-30196>