



WANTUIR FILIPE TEIXEIRA CHAGAS

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO FOSFATO
REATIVO DE BAYÓVAR ASSOCIADO OU NÃO
À CALAGEM NO CULTIVO DO CAPIM-PIATÃ**

LAVRAS – MG

2014

WANTUIR FILIPE TEIXEIRA CHAGAS

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO FOSFATO REATIVO DE BAYÓVAR
ASSOCIADO OU NÃO À CALAGEM NO CULTIVO DO CAPIM-PIATÃ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva

LAVRAS – MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Chagas, Wantuir Filipe Teixeira.

Eficiência agrônômica do fosfato reativo de Bayóvar associado ou não à calagem no cultivo do capim-piatã / Wantuir Filipe Teixeira Chagas. – Lavras : UFLA, 2014.

79 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Douglas Ramos Guelfi Silva.

Bibliografia.

1. Fósforo. 2. Pastagens - Adubação fosfatada. 3. *Brachiaria brizantha* - Adubação fosfatada. I. Universidade Federal de Lavras.
II. Título.

CDD – 631.85

WANTUIR FILIPE TEIXEIRA CHAGAS

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO FOSFATO REATIVO DE BAYÓVAR
ASSOCIADO OU NÃO À CALAGEM NO CULTIVO DO CAPIM-PIATÃ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 11 de outubro de 2013.

Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva UFLA

Dr. Valdemar Faquin UFLA

Dr. Francisco Dias Nogueira EPAMIG

Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Orientador

LAVRAS – MG

2013

OFEREÇO

Ao meu avô Silvio Chagas (*In memorian*), pela amizade, convivência por
vários anos
e pelos ensinamentos de formação religiosa e
pessoal que me acompanharão
por toda a vida.

Aos meus pais, Carlos Tadeu Rezende Chagas e Márcia Ednéia Teixeira Chagas,
Aos meus avós América (*In memorian*), Tuíco (*In memorian*) e Maria,
A minha esposa Lívia e meu filho Miguel,
A minha madrinha Vera,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar comigo e me iluminar em mais uma etapa vencida.

Aos meus pais, Márcia e Tadeu, pela força, incentivo e imenso amor.

A minha esposa Lívia, por todo carinho, amor e compreensão nos momentos difíceis.

Ao meu filho Miguel, por ser incentivo e motivação para seguir em frente e continuar buscando novas conquistas.

Ao Prof. Dr. Douglas R. Guelfi Silva, pela orientação, amizade e boa vontade em ensinar e corrigir rumos.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo pela oportunidade de realização deste curso de Mestrado.

A CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro na condução dos trabalhos e concessão de bolsa.

Ao Prof. Dr. Luiz Antonio Augusto Gomes, pelo meu ingresso na pesquisa científica e pelo aprendizado de vários anos.

Ao Eduardo Bucsan pela amizade e grande contribuição para realização deste trabalho.

Aos amigos, Cristiano, Eduardo, Elidiane, Malu, Rômulo, Silas, Leandro, e em especial ao Hércio pelo grande auxílio e apoio na execução deste trabalho.

Aos funcionários do departamento de Ciência do Solo, em especial ao Roberto, Milton, Dirce e ao “canela” Pesão, pela amizade e ajuda na condução dos experimentos.

Aos estudantes de graduação, André, Camila, Lorena, Marco Túlio, Juliano pela amizade e apoio durante todo tempo que trabalhamos juntos.

RESUMO GERAL

No Brasil, grande parte das áreas de pastagens apresenta problemas relacionados à fertilidade do solo, principalmente, quanto ao manejo da adubação com fósforo (P). Atualmente, existem diversos fertilizantes fosfatados, nos quais o P tem solubilidade diferenciada, bem como, eficiência agronômica. Neste contexto, os fosfatos naturais reativos, como o de Bayóvar, oriundo da região de Sechura no Peru, apresenta baixo custo por unidade de P em comparação aos fertilizantes solúveis e tornam-se mais uma opção para aplicação em pastagens. Objetivou-se com este trabalho avaliar as características estruturais e produtivas do capim-Piatã sob doses e fontes de fósforo e a eficiência agronômica da adubação fosfatada, na ausência e presença de calagem. O experimento foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo/UFLA, em vasos preenchidos com 5 kg de um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa. O delineamento do experimento foi inteiramente casualizado e os tratamentos distribuídos em esquema fatorial 3 x 6 x 2: três fontes de fósforo: superfosfato triplo (SFT), termofosfato magnesiano (TM) e fosfato reativo de Bayóvar (FB) aplicados em seis doses (0; 50; 100; 200; 400; 800 mg dm⁻³), na ausência (+C) ou presença (-C) de calagem, com três repetições. Nos tratamentos onde a fertilização fosfatada foi associada ao uso da calagem, o solo recebeu a adição de calcário 60 dias antes da aplicação dos fertilizantes. Antes da semeadura do capim-piatã foi avaliada a disponibilidade de fósforo no solo pelos métodos Mehlich-1 e Resina. Em seguida, realizou-se uma adubação com 100 mg de N; 50 mg de K; 40 mg de S; 5 mg de Zn; 1,5 mg de Cu; 3,6 mg de Mn; 0,8 mg de B; 0,15 mg de Mo por dm³. Logo após, foi realizada a semeadura do capim-piatã. Foram realizados quatro cortes e no período compreendido entre cada corte, a forrageira recebeu adubação de cobertura com nitrogênio e potássio. Para cada corte, foram avaliados a massa seca de parte aérea (MSPA) e de raiz (MSR), relação folha:colmo (RFC), altura de plantas, número de perfilhos por planta, teor de P, acúmulo de P e o índice de eficiência agronômica (IEA). As características estruturais e nutricionais do capim-piatã foram influenciadas pelas doses e fontes de fósforo na presença ou ausência de calcário e os melhores resultados foram obtidos com a utilização de superfosfato triplo na presença de calcário. O FB foi mais eficiente no fornecimento de P quando aplicado na ausência de calcário. O índice de eficiência agronômica, ao final dos quatro cortes, seguiu a ordem decrescente: SFT+C = TM+C = TM-C = SFT-C > FB-C > FB+C, comportamento que acompanhou o acúmulo de fósforo na MSPA.

Palavras-chave: Fósforo. Pastagens. *Brachiaria brizantha*

GENERAL ABSTRACT

In Brazil, a large portion of areas cultivated with pastures show problems related to soil fertility, particularly in regard to phosphorus (P) fertilization. Nowadays, there are many phosphorus fertilizers in which the P presents a differentiated solubility, as well as agronomic efficiency. In this context, natural reactive phosphates, such as Bayóvar, derived from the Sechura region in Peru, present low cost per P unit when compared to soluble fertilizers, becoming an option for pasture fertilization. This work aimed at evaluating the structural and productive characteristics of the Piatãgrass (*Brachiaria brizantha*) under different P doses and sources, as well as the agronomic efficiency of phosphorus fertilization, with and without limestone. The experiment was conducted in a greenhouse of the Soil Science Department /UFLA in vases containing 5kg of a dystrophic Red Latosol with clay texture. The experimental design was completely randomized with the treatments distributed in a 3 x 6 x 2 factorial. Three sources of phosphorus were tested: triple superphosphate (TSP), magnesium thermophosphate (MT) and reactive Bayóvar phosphate (BP), applied in six doses (0; 50; 100; 200; 400; 800 mg dm⁻³), with (+C) or without (-C) limestone, with three replicates. In the treatments in which the phosphate fertilization was associated with limestone, the soil received the addition of limestone 60 days before the fertilizer treatments. Before the sowing, we evaluated the availability of P in the soil by the Mehlich-1 and Resine methods. Subsequently, we performed fertilization with 100 mg of N; 50 mg of K; 40 mg of Zn; 1.5 mg of Cu; 3;6 mg of Mn; 0.8 mg of B; and 0.15 mg of Mo, in order to, then, sow the piatãgrass. Four cuts were performed, and in the period between each cut, the grass received topdressing with nitrogen and potassium. For each cut, we evaluated dry shoot mass (DSM) and dry root mass (DRM), the leaves: culms (L:C) relation, plant height, number of tillers per plant, P content, P accumulation and the agronomic efficiency index (AEI). The structural and nutritional characteristics were influenced by the doses and sources of P, with or without limestone, and best results were obtained using the triple superphosphate with limestone. BP was the most efficient in providing P when applied without limestone. The agronomic efficiency index after four cuts follow the order: TSP+L = MT+L = MT-L = TSP-L > BP-L > BP+L, behavior which followed the accumulation of phosphorus in DSM.

Key words: Phosphorus. Pastures. *Brachiaria brizantha*

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1 Massa seca total da parte aérea (MSTPA), ao final dos quatro cortes, do capim-piatã fertilizado com diferentes fontes e doses de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário no solo 32
- Figura 2 Massa seca de raiz (MSR) do capim-piatã com diferentes fontes e doses de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário 34
- Figura 3 Massa seca de laminas foliares (MSLF) do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário 37
- Figura 4 Massa seca de colmo e bainha (MSC) do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário 40
- Figura 5 Altura de plantas do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo na presença e ausência de calcário 43
- Figura 6 Número de perfilhos por plantas do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário 45

CAPÍTULO 3

- Figura 1 Teor de fósforo (P) na massa seca de parte aérea (MSPA) de plantas do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo, com e sem calcário 62
- Figura 2 Acúmulo de fósforo (P) na massa seca da parte aérea (MSPA) do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo, com e sem calcário 66

| | | |
|----------|--|----|
| Figura 3 | Acúmulo de fósforo (P) na massa seca de raiz (MSR) do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo | 68 |
| Figura 4 | Relações da produção relativa do capim-piatã <i>versus</i> fósforo disponível estimado pelo extrator Mehlich-1, sob diferentes fontes e doses de fósforo, com e sem calcário | 71 |
| Figura 5 | Relações da produção relativa do capim-piatã <i>versus</i> fósforo disponível estimado pela resina de troca iônica, sob diferentes fontes e doses de fósforo, com e sem calcário | 73 |

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

| | | |
|----------|--|----|
| Tabela 1 | Caracterização química e física dos fertilizantes fosfatados | 26 |
| Tabela 2 | Massa seca total da parte aérea (MSTPA) e de raízes (MSR) do capim-piatã em função da aplicação de fertilizantes fosfatados associados à calagem | 28 |
| Tabela 3 | Equações de regressão, coeficientes de determinação (R^2), produção máxima e doses para obtenção da máxima produção (Dose de P) para massa seca total de parte aérea (MSTPA) do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo (P) aplicadas na presença e ausência de calcário | 33 |
| Tabela 4 | Equações de regressão, coeficientes de determinação (R^2), produção máxima e doses para obtenção máxima da produção (Dose de P) para massa seca de raiz (MSR) do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo (P) aplicadas na presença e ausência de calcário | 35 |
| Tabela 5 | Massa seca de lâminas foliares (MSLF), do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário | 36 |
| Tabela 6 | Equações de regressão, coeficientes de determinação (R^2), produção máxima e doses para obtenção máxima da produção (Dose de P) para massa seca de laminas foliares (MSLF) do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo (P) aplicadas na presença e ausência de calcário | 38 |
| Tabela 7 | Massa seca de colmo (MSC), do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário | 39 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabela 8 | Equações de regressão, coeficientes de determinação (R^2), produção máxima e doses para obtenção máxima da produção (Dose de P) para massa seca de colmo e bainha (MSC) do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo (P) aplicadas na presença e ausência de calcário | 41 |
| Tabela 9 | Altura de plantas do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário | 42 |
| Tabela 10 | Equações de regressão, coeficientes de determinação (R^2), altura máxima e doses para obtenção da máxima altura (Dose de P) do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo (P) aplicadas na presença e ausência de calcário | 44 |
| Tabela 11 | Equações de regressão, coeficientes de determinação (R^2), número máximo de perfilhos e doses para obtenção máxima de perfilhos (Dose de P) do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo (P) aplicadas na presença e ausência de calcário | 45 |
| Tabela 12 | Relação folha:colmo do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário | 46 |

CAPÍTULO 3

| | | |
|----------|--|----|
| Tabela 1 | Teor de fósforo na massa seca de parte aérea (MSPA) em quatro cortes e na massa seca de raiz (MSR) de plantas capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo, com e sem calcário | 61 |
|----------|--|----|

| | | |
|----------|--|----|
| Tabela 2 | Equações de regressão, coeficientes de determinação (R^2) para o teor de fósforo na massa seca de parte aérea (MSPA) do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo, com e sem calcário | 63 |
| Tabela 3 | Acúmulo de fósforo na massa seca de parte aérea (MSPA) em quatro cortes, na massa seca total ao final dos quatro cortes (MST) e massa seca de raízes (MSR) do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo, com e sem calcário | 64 |
| Tabela 4 | Equações de regressão, coeficientes de determinação (R^2) para o acúmulo de fósforo na massa seca de parte aérea (MSPA) do capim-piatã cultivadas sob diferentes fontes e doses de fósforo | 67 |
| Tabela 5 | Equações de regressão, coeficientes de determinação (R^2) para o acúmulo de fósforo na massa seca de raiz (MSR) do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo | 69 |
| Tabela 6 | Eficiência agronômica das fontes de fósforo, com ou sem calcário, em relação ao superfosfato triplo (SFT) na produção de massa de parte aérea do capim-piatã | 69 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|----|
| | CAPITULO 1 Introdução geral | 14 |
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| | REFERÊNCIAS | 17 |
| | CAPÍTULO 2 Características estruturais e produtivas do capim-piatã, fertilizado com fosfato reativo de bayóvar associado ou não à calagem | 20 |
| 1 | INTRODUÇÃO | 22 |
| 2 | MATERIAL E MÉTODOS | 24 |
| 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 28 |
| 4 | CONCLUSÕES | 48 |
| | REFERÊNCIAS | 49 |
| | CAPÍTULO 3 Acúmulo de fósforo e eficiência agronômica do fosfato reativo de bayóvar associado ou não à calagem no cultivo do capim-piatã | 54 |
| 1 | INTRODUÇÃO | 56 |
| 2 | MATERIAL E MÉTODOS | 58 |
| 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 61 |
| 4 | CONCLUSÕES | 75 |
| | REFERÊNCIAS | 76 |

CAPITULO 1 Introdução geral

1 INTRODUÇÃO

As pastagens são a principal fonte de alimentação para os ruminantes no Brasil. Gramíneas forrageiras do gênero *Brachiaria* se destacam por serem cultivadas em grandes áreas e são responsáveis pela maior parte do mercado de sementes e pelo incremento na produtividade animal (BASSO et al., 2009). Dentre os fatores que mais limitam a qualidade das pastagens, a baixa disponibilidade de nutrientes, principalmente o fósforo, destaca-se interferindo na produtividade e na qualidade das forrageiras tropicais (MESQUITA et al., 2004).

No Brasil, a demanda por fertilizantes fosfatados (P_2O_5) registrou aumento de 8,6%, passando de 1.522 mil toneladas no primeiro semestre de 2011 para 1.653 mil toneladas no mesmo período de 2012. Do ano de 2010 para 2011 esse aumento foi ainda maior, superior a 26% (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS, 2013).

Essa crescente demanda por fósforo (P), associada ao aumento no custo dos fertilizantes fosfatados no Brasil, exige a escolha de estratégias adequadas que busquem otimizar a eficiência agrônômica dos fertilizantes fosfatados para que adubação seja uma alternativa economicamente interessante em áreas de pastagem.

Em solos ácidos, típicos de regiões do Cerrado, altas produtividades de culturas perenes, como as pastagens, dependem da aplicação de doses de P várias vezes maiores que aquela exigida pela cultura (ZAPATA; ZAHARAH, 2002; BÜLL et al., 2004). Isso ocorre porque apenas uma pequena fração do P aplicado torna-se disponível para as plantas em virtude da alta capacidade de adsorção em grande parte dos solos tropicais (PHEAV et al., 2003). Exige-se,

dessa forma, manejo mais eficiente para o suprimento de P por meio da fertilização do solo.

O fósforo total, presente no solo, pode ser encontrado em formas inorgânicas e orgânicas (OLIVEIRA et al., 2009). Quando em forma inorgânica (ânions fosfato) pode ser retirado da solução do solo por meio das reações de retenção (fixação + precipitação) (MARSCHNER; SOLAIMAN; RENGEL, 2007). Os baixos teores de P existentes no solo e a elevada capacidade de reagir no solo, formando compostos insolúveis, explicam sua baixa disponibilidade na solução do solo (THANHNGUYEN; MARSCHNER, 2005; RESENDE et al., 2011).

Os fertilizantes fosfatados são classificados quanto a sua solubilidade em água ou ácido fraco (CAIONE et al., 2011). As fontes de P mais solúveis possuem maior eficiência agronômica em curto prazo, mas apresentam maior tendência a perdas por retenção no solo à medida que aumenta o tempo de contato do fertilizante no solo (BHATTI; YAWAR, 2010). Efeito contrário pode ser observado em fontes de menor solubilidade (PRADO et al., 2011).

Os fertilizantes que possuem maior solubilidade compreendem os superfosfatos simples e triplo, fosfatos monoamônico (MAP) e diamônico (DAP), os quais respondem por mais de 90% do P aplicado nas lavouras brasileiras (CAIONE et al., 2011). Já os fosfatos de baixa reatividade, ao disponibilizarem mais lentamente o P, fazem com que ocorra uma redução nos processos de fixação e podem favorecer um melhor aproveitamento do nutriente pela planta, com prolongado efeito residual (XIONG et al., 2002; PROCHNOW; FRANCISCO; BRAGA, 2006; CAIONE et al., 2011). Desta forma, o uso de fosfatos reativos têm sido uma boa alternativa para aumentar a eficiência de uso do P e reduzir custos, já que esses fertilizantes apresentam menores valores por unidade de P (FREIRE; FONSECA; CANTARUT-TI, 2005).

O fosfato reativo de Bayóvar apresenta solubilidade intermediária entre as fontes de P solúveis e os fosfatos naturais. É um fosfato de origem sedimentar e caracteriza-se por apresentar alto grau de substituição isomórfica do íon fosfato por carbonato, o que lhe confere maior velocidade de reação no solo, quando comparado a outros fosfatos naturais (NOVAIS et al., 2007).

Além do fertilizante fosfatado utilizado, outro grande problema são os extratores utilizados para avaliação do fósforo disponível nesses solos. Os produtos da reação do fósforo no solo em regiões tropicais são, em grande parte, fosfatos de ferro e alumínio. Dessa maneira, o método mais indicado para avaliar a disponibilidade de fósforo nesses solos não deveria utilizar extratores ácidos, como o Mehlich-1 (RAIJ, 2011).

Esse método, além de não ser recomendado para solos ácidos, dissolve resíduos de fosfatos de baixa solubilidade que não estão disponíveis às plantas. Com isso, superestima-se o fósforo disponível no solo, quando aplicadas fontes menos solúveis. Porém, em razão de sua praticidade e baixo custo, ainda é o método mais utilizado.

Os resultados de pesquisa, principalmente em solos das regiões do Cerrado, apontam a resina de troca iônica como uma alternativa adequada para extração de fósforo nessas condições. A reação de extração do fósforo pela resina age de forma similar à absorção de fósforo pela planta, pois à medida que o fósforo é removido da solução, há reposição por dissolução desse fósforo lábil, ou seja, fósforo que está disponível à planta (RAIJ, 2011).

Diante da importância do P no bom manejo da fertilidade do solo em condições tropicais, buscou-se, com o presente trabalho, avaliar as características estruturais e produtivas do capim-Piatã sob doses e fontes de fósforo e a eficiência agrônômica da adubação fosfatada, na ausência e presença de calagem.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. São Paulo: ANDA, 2013.

BASSO, K. C. et al. Avaliação de acessos de *Brachiaria brizantha* Stapf e estimativas de parâmetros genéticos para caracteres agronômicos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 17-22, 2009.

BHATTI, T. M.; YAWAR, W. Bacterial solubilization of phosphorus from phosphate rock containing sulfur-mud. **Hydrometallurgy**, Amsterdam, v. 103, n. 1-4, p. 54-59, June 2010.

BULL, L. T. et al. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, v. 5, p. 516-521, Sept./Out. 2004.

CAIONE, G. et al. Fontes de fósforo em variedades de cana-de-açúcar forrageira. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 66-73, 2011.

FREIRE, F. M.; FONSECA, D. M.; CANTARUTTI, R. B. Manejo da fertilidade do solo em pastagens. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 226, p. 44-53, 2005.

MACIEL, G. A. et al. Efeito de diferentes fontes de fósforo na *Brachiaria Brizantha* cv. marandu cultivada em dois tipos de solos. **Ciência Animal Brasileira**, Goiás, v. 8, n. 2, p. 227-233, abr./jun. 2007.

MARSCHNER, P.; SOLAIMAN, Z.; RENGEL, Z. Brassica genotypes differ in growth, phosphorus uptake and rhizosphere properties under P-limiting conditions. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 39, n. 1, p. 87-98, Jan. 2007.

MESQUITA, E. E. et al. Teores críticos de fósforo em três solos para o estabelecimento de capim-mombaça, capim-marandu e capim-andropogon em vasos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 290-301, 2004.

NOVAIS, R. F. et al. (Org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

OLIVEIRA, C. A. et al. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. **Soil Biology & Biochemistry**, Emsford, v. 41, n. 9, p. 1782-1787, Sept. 2009.

PHEAV, S. et al. Fate of applied fertilizer phosphorus in a highly weathered sandy soil under lowland rice cropping, and its residual effect. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 1-16, 2003.

PRADO, G. R. et al. Comportamento de superfosfato simples contendo fosfato de ferro de baixa em solubilidade água em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 35, n. 3, p. 907-916, 2011.

PROCHNOW, L. S.; FRANCISCO, J. F. B.; BRAGA, E. A. G. Effectiveness of phosphate fertilizers of different water solubilities in relation to soil phosphorus adsorption. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, v. 4, p. 333-340, July/Aug. 2006.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**: volume 1. 2. ed. Piracicaba: IPNI, 2011.

RESENDE, F. et al. Phosphorus cycling in a small watershed in the Brazilian Cerrado: impacts of frequent burning. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 105, n. 1-3, p. 105-118, Sept. 2011.

SOUSA, D. M. G.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L. **Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2007.

THANHNGUYEN, B. T.; MARSCHNER, P. Effect of drying and rewetting on phosphorus transformations in red brown soils with different soil organic matter content. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 37, n. 8, p. 1573-1576, Aug. 2005.

XIONG, L. M. et al. Isotopic assessment of soil phosphorus fertility and evaluation of rock phosphates as phosphorus sources for plants in subtropical China. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 63, n. 1, p. 91-98, May 2002.

ZAPATA, F.; ZAHARAH, A. R. Phosphorus availability from phosphate rock and sewage sludge as influenced by the addition of water soluble phosphate fertilizer. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 63, n. 1, p. 43-48, May 2002.

CAPÍTULO 2 Características estruturais e produtivas do capim-piatã, fertilizado com fosfato reativo de bayóvar associado ou não à calagem

RESUMO

Em solos brasileiros, o fósforo (P) é considerado o principal nutriente para o estabelecimento de pastagens. O Fosfato reativo de Bayóvar, por apresentar um menor custo por unidade de P, em comparação aos fertilizantes solúveis e possuir um maior efeito residual no solo, torna-se mais uma opção para aplicação em pastagens. Objetivou-se, com este trabalho, comparar o efeito da fertilização com fosfato reativo de Bayóvar com fontes de referência como o superfostato triplo e termofosfato magnésiano, aplicadas na ausência e presença de calagem, nas características produtivas e estruturais do capim-piatã. O experimento foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo/UFLA, em vasos preenchidos com 5 kg de um Latossolo Vermelho, distrófico de textura argilosa. O delineamento do experimento foi inteiramente casualizado e os tratamentos distribuídos em esquema fatorial 3 x 6 x 2: três fontes de fósforo (superfosfato triplo [SFT], termofosfato magnésiano [TM] e fosfato reativo de bayóvar [FB]), seis doses de fósforo (0; 50; 100; 200; 400; 800 mg dm⁻³), com (+C) e sem (-C) calcário, com três repetições. Nos tratamentos que receberam calagem, foi realizada a aplicação de calcário 60 dias antes da incorporação dos fertilizantes fosfatados. As fontes de P passaram por um período de incubação de 30 dias. Em seguida, realizou-se a adubação com os demais nutrientes na forma de solução. Foram semeadas 15 sementes do capim-piatã e, após o desbaste, foram cultivadas cinco plantas por vaso. Realizou-se adubação de cobertura com nitrogênio e potássio no período compreendido entre cada corte. Após 60 dias da semeadura, foi realizado o 1º corte, e os outros 3 com intervalos de 40 dias. Antes de cada corte, avaliou-se o número de perfilhos por planta e altura das plantas. Após cada corte, foi obtida: a massa seca de parte aérea, subdividida em lâminas foliares e colmos. Após o último corte das plantas (4º), as raízes foram retiradas dos vasos, lavadas e secas para obtenção da massa seca de raízes (MSR). As características estruturais e produtivas do capim-piatã foram influenciadas pelas doses e fontes de fósforo na presença ou ausência de calcário. A maior MSPA foi obtida com a utilização do SFT associado ao uso da calagem. Sem o uso de calagem, o TM, obteve produção de MSPA superior à observada com a aplicação de SFT. O FB proporcionou maior MSPA, MSLF, MSC, quando aplicado na ausência de calcário.

Palavras-chave: Fosfatagem. Forrageiras. *Brachiaria brizantha*

ABSTRACT

In Brazilian soils, phosphorus (P) is considered the main nutrient for pasture establishment. For presenting a lower cost per P unit when compared to soluble fertilizers and a larger residual effect on the soil, Bayóvar reactive phosphate becomes one more option for pastures. The objective of this study was to compare the effect of reactive Bayóvar phosphate (BP) to that of triple superphosphate (TSP) and magnesium thermophosphate (MT), associated or not with liming, on the productive and structural characteristics of the *Brachiaria brizantha* (cv. *Piatã*). The experiment was conducted in a greenhouse of the Soil Science Department /UFLA in vases containing 5kg of dystrophic Red Latosol, with clay texture. The experimental design was completely randomized with the treatments distributed in a 3 x 6 x 2 factorial scheme. Three sources of phosphorus were tested: triple superphosphate, magnesium thermophosphate and reactive Bayóvar phosphate, in six doses (0; 50; 100; 200; 400; 800 mg dm⁻³), with (+C) or without (-C) limestone, with three replicates. In the treatments in which the phosphate fertilization was associated with limestone, the soil received the addition of limestone 60 days before the fertilizer treatments. The P sources went through an incubation period of 30 days. Subsequently, we performed fertilization with the other nutrients in the form of solution. Fifteen *Piatã*grass seeds were sown and, after the thinning, cultivated five plants per vase. The grass received topdressing with nitrogen and potassium in the period between each cut. Sixty days after sowing we performed the first cut, with the other 3 presenting intervals of 40 days between each. Before each cut, were evaluated the number of tillers per plant and plant height. After each cut we obtained the dry shoot mass, subdivided into leaf blades (DSML) and stems (DSMS). After the last cut the roots were washed and dried in order to obtain the dry mass of roots (DRM). The structural and productive characteristics of *Brachiaria brizantha* (cv. *Piatã*) were influenced by the doses and sources of phosphorus, with and without limestone. The highest DSM was obtained using the triple superphosphate associated with limestone. Without using limestone, the MT obtained a DSM production higher than that observed with the application of TSP. BP provided greater DSM, DSML and DSMS, when applied in the absence of limestone.

Key words: Phosphate covering. Grass. *Brachiaria brizantha*.

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de espécies forrageiras apresenta grande importância para a pecuária brasileira, sendo 20% do território nacional ocupado por pastagens (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES, 2012).

A melhoria na qualidade das pastagens é condicionada por fatores relacionados às características das plantas e pelo manejo do solo. Dentre as práticas de manejo que favorecem a produção das espécies forrageiras, a fertilidade de solos representa grande relevância, pois permite o aumento da disponibilidade e eficiência de utilização dos nutrientes pelas plantas.

Nos solos brasileiros, o fósforo é considerado o principal nutriente para o estabelecimento de pastagens, por ser o elemento mais limitante à produção vegetal em solos de Cerrado (SOUSA; MARTHA JÚNIOR; VILELA, 2007). O P tem um papel importante no desenvolvimento do sistema radicular e no perfilhamento das gramíneas. Por essa razão, em condições de deficiência de P, as plantas têm seu crescimento limitado (THIBAUD et al., 2010; REDEL et al., 2011). Nesse contexto, a aplicação de fertilizantes fosfatados no solo torna-se uma prática indispensável à manutenção da produção do pasto.

Na agricultura brasileira, as fontes de fósforo solúveis em água são amplamente utilizadas, são reconhecidas como fornecedoras desse nutriente por proporcionarem elevada eficiência agrônômica (ROSSI; MONTEIRO, 1999; SOARES et al., 2000). Porém, estas fontes apresentam algumas limitações, principalmente em função da necessidade de se empregar ácido sulfúrico (H_2SO_4) na sua fabricação, que representa um alto custo por se tratar de uma matéria prima importada (RAIJ, 1986). Outro ponto negativo no uso de fontes solúveis em água é que não há uma disponibilidade gradual e o P fica prontamente disponível e susceptível a reações de retenção, tornando-se

indisponível às plantas ao longo do tempo (NAKAYAMA et al., 1998; COSTA et al., 2008).

Esse efeito de disponibilidade imediata ocorre em menor intensidade com as fontes menos reativas, como os fosfatos naturais (PRADO et al., 2011). Essas fontes de P estão sujeitas à menor fixação e, ainda, possuem baixo valor por unidade de P (CAIONE et al., 2011). O estudo de características estruturais de gramíneas forrageiras (altura, massa seca de parte aérea e relação folha:colmo) permite um melhor entendimento da relação entre adubação fosfatada e manejo do pastejo em condições de campo, pois as características do pasto possuem elevada correlação com as respostas produtivas tanto de plantas quanto de animais (SILVA; CORSI, 2003). Objetivou-se, com este trabalho, comparar o efeito da fertilização com fosfato reativo de Bayóvar com fontes de referência, como o superfostato triplo e termofosfato magnesiano, aplicadas na ausência e presença de calagem, nas características produtivas e estruturais do capim-piatã.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo, na Universidade Federal de Lavras (Lavras - MG). As amostras foram coletadas na camada de 0-20 cm em um Latossolo Vermelho distrófico, de textura argilosa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1999), localizado no município de Lavras (MG).

O solo foi destorroado e passado em peneira de 4 mm de abertura de malha e secas ao ar e as subamostras passadas em peneira com malha de 2 mm para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA) e submetidas a análises físicas e químicas: pH em água = 4,5; MO = 6,9 dag kg⁻¹, P_{remanescente} = 10,6 mg L⁻¹, P_{Mehlich} = 2,6 mg dm⁻³; K⁺ = 97 mg dm⁻³; Ca²⁺ = 0,7 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 0,4 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 1,4 cmol dm⁻³; (H + Al) = 12,3 cmol_c dm⁻³; SB = 1,35 cmol_c dm⁻³; t = 2,7 cmol_c dm⁻³; T = 13,6 cmol_c dm⁻³; Zn = 1,4 mg dm⁻³; Fe = 98,8 mg dm⁻³; Mn = 8,6 mg dm⁻³; Cu = 1,6 mg dm⁻³; B = 0,1 mg dm⁻³; S = 17,7 mg dm⁻³; argila = 58 dag kg⁻¹, silte = 24 dag kg⁻¹ e areia = 18 dag kg⁻¹.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com três repetições, formando um fatorial 3 x 6 x 2, composto por três fontes de P: Superfosfato Triplo (SFT), Termofosfato Magnésiano Yoorin (TM) e Fosfato Reativo de Bayóvar (FB), seis doses de fósforo (0; 50; 100; 200; 400; 800 mg.dm⁻³ de P₂O₅), aplicadas na ausência e presença de calcário (- C e + C).

O superfosfato triplo é um fertilizante considerado de alta solubilidade, obtido por uma mistura estequiométrica de H₃PO₄ com fosfatos naturais (apatitas), dissolvendo rapidamente no solo (NOVAIS et al., 2007). Já o Fosfato reativo de Bayóvar é de origem sedimentar e orgânico, formado pela deposição e posterior decomposição de restos de animais marinhos, sendo proveniente da região de Bayóvar (Sechura) no Peru.

O termofosfato magnésiano de Yoorin é obtido por tratamento térmico de rochas fosfatadas em misturas com silicatos de magnésio e possui um efeito corretivo da acidez do solo. A aplicação de 100 kg de termofosfato magnésiano gera íons OH^- que equivalem à aplicação de 8 kg de CaCO_3 . É classificado no grupo dos fertilizantes fosfatados insolúveis em água, mas com alta solubilidade em ácido cítrico (SOUSA; LOBATO, 2004).

Cada parcela experimental foi formada por um vaso, contendo 5 kg de solo, totalizando 108 vasos. Para as parcelas que receberam a adição de calcário, foram aplicados CaCO_3 e MgCO_3 (reagentes p.a.), na relação molar de 4:1 de forma a elevar a saturação por base (V) para 45%. O período de reação do calcário foi de 60 dias. Os tratamentos com fertilizantes fosfatados foram incorporados às parcelas após o período de reação do calcário no solo. A quantidade aplicada de cada fonte de fósforo foi determinada levando-se em conta o teor de P_2O_5 total (Tabela 1). Em seguida, passaram por um período de incubação de 30 dias.

Tabela 1 Caracterização química e física dos fertilizantes fosfatados

| Características | | | | | | | | | | |
|-----------------|--|--|------|-----|------|-----|-----|------|-------------------------------|---------------|
| Fonte | P ₂ O ₅ total | P ₂ O ₅ solúvel em ácido | Ca | Mg | B | Fe | Mn | Zn | Equivale CaCO ₃ | granulometria |
| ----- % ----- | | | | | | | | | | |
| STF | 48 | 40,4 | 7 | - | - | - | - | - | - | Granulado |
| FB | 26 | 5,12 | 34,3 | 0,4 | 0,05 | 0,3 | - | - | - | Farelado |
| TM | 16 | 9,75 | 23,3 | 8,7 | 0,01 | 5,1 | 0,3 | 0,04 | 50 | Pó |

Posteriormente, realizou-se uma adubação básica (MALAVOLTA, 1980), com todos os outros nutrientes, exceto o P, por meio de fontes de sais pró-análise. As doses de macro e micronutrientes para cada vaso foram: 100 mg de N; 50 mg de K; 40 mg de S; 5 mg de Zn; 1,5 mg de Cu; 3,6 mg de Mn; 0,8 mg de B; 0,15 mg de Mo por dm³. Durante o cultivo, as forrageiras receberam adubações nitrogenada e potássica em cobertura, aplicando-se 300 e 200 mg dm³ de cada nutriente, respectivamente, parceladas em três aplicações no período compreendido entre cada corte.

Posteriormente, foram semeadas 15 sementes por vaso da *Brachiaria brizanta* cv. Piatã e após cinco dias contados, a partir da emergência das plântulas, realizou-se desbaste para cinco plantas.

Aos 60 dias após a semeadura, foi efetuado o 1º corte da parte aérea da forrageira realizado a dois centímetros do solo. Posteriormente, foram realizados mais três cortes, com intervalos de 40 dias. Antes de cada corte, avaliou-se o número de perfilhos por planta e altura das plantas.

Após cada corte, a forrageira coletada foi seca em estufa de circulação forçada a 65°C, até atingir massa constante para a obtenção da massa seca da

parte aérea (MSPA), que foi subdivida em folhas (MSLF) e colmos (colmo + bainha das folhas) (MSC). A partir desses dados de massa seca, calculou-se a relação folha:caule (F:C).

Após o último corte, as raízes foram lavadas com água deionizada e secas em estufa de circulação forçada a 65°C. Foi determinada a massa seca de cada uma das frações das plantas.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando as interações foram significativas, foi realizado o desdobramento das variáveis, por meio do teste de regressão, e as médias foram comparadas por meio do teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas, utilizando o programa computacional R Development Core Team (2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa ($p < 0,05$) para fontes e cortes, apenas para o efeito das fontes de fósforo, associadas ou não à calagem, em cada corte, para a massa seca da parte aérea, e massa seca de raízes do capim-piatã (Tabela 2).

Tabela 2 Massa seca total da parte aérea (MSTPA) e de raízes (MSR) do capim piatã em função da aplicação de fertilizantes fosfatados associados à calagem

| Tratamento | 1º corte | 2º corte | 3º corte | 4º corte | MSTPA | Raízes |
|------------|----------------------|----------|----------|----------|---------|---------|
| | g vaso ⁻¹ | | | | | |
| | MSPA | | | | MSR | |
| FB + C | 1,58 D | 3,72 E | 13,61 D | 12,94 B | 31,35 E | 11,44 C |
| SFT + C | 17,32 A | 21,25 A | 25,55 A | 16,70 A | 80,82 A | 25,05 A |
| TM + C | 14,58 B | 17,49 C | 23,62 B | 14,61 B | 70,30 C | 25,25 A |
| FB - C | 4,80 C | 12,23 D | 22,52 C | 15,27 A | 54,82 D | 19,53 B |
| SFT - C | 15,66 B | 17,50 C | 21,85 C | 14,11 B | 69,12 C | 24,77 A |
| TM - C | 15,29 B | 19,21 B | 23,61 B | 16,39 A | 74,50 B | 24,50 A |

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

A MSTPA total (final dos quatro cortes) foi decrescente para os tratamentos: SFT + C > TM - C > TM + C = SFT - C > FB - C > FB + C. A MSPA total variou entre 31,35 g vaso⁻¹ (fosfato de Bayóvar + calcário) e 80,82 g vaso⁻¹ (Superfosfato Triplo + calcário) mostrando diferença de 158%, quando comparadas. O fosfato reativo de Bayóvar promoveu maior valor de MSTPA total na ausência de calcário que foi igual a 54,82 g vaso⁻¹, ou seja, uma redução de 75% na MSTPA quando a calagem foi associada à aplicação do FB. Com a aplicação do SFT ocorreu o contrário, na presença de calagem a MSPA total foi 17% maior do que na ausência. Esse resultado enfatiza a importância da

correção da acidez do solo com calcário associado a fertilizantes fosfatados, como o SFT, para melhoria nas respostas da produção de plantas forrageiras. Em contrapartida, reforça que melhores respostas em crescimento do capim-piatã são obtidas quando o FB é aplicado em solos mais ácidos.

A aplicação de TM, associado à calagem, promoveu redução de 6% na MSTPA. A aplicação de 100 kg de TM gera íons OH^- que equivalem à aplicação de 8 kg de CaCO_3 puro (índice de alcalinidade = -8) (NOVAIS et al., 2007). Essa alcalinidade gerada pela reação do TM cumulativamente a do calcário, provavelmente, ocasionou diminuição na MSTPA do capim-piatã.

No 1º corte, o SFT associado ao calcário, destacou-se entre os demais tratamentos no que se refere à MSTPA. O valor máximo de MSPA (17,32 g vaso⁻¹), com aplicação do SFT+C, pode ser explicado em função da maior solubilidade do P desta fonte e, também, pela maior eficiência de uso de fósforo em solo com acidez corrigida (SOUSA; MARTHA JÚNIOR; VILELA, 2007).

No 1º corte, a MSPA do capim-piatã foi 1,58 g vaso⁻¹ com aplicação do fosfato reativo de Bayóvar na presença de calcário, o que mostra a baixa liberação de P para a solução do solo desse fertilizante em condições de solo corrigido o que ocasionou essa pequena produção da parte aérea do capim-piatã.

Até o 3º corte, a MSPA aumentou para todos os fertilizantes fosfatados, associados ou não à calagem. No 4º corte, os valores de MSPA diminuíram em ordem decrescente em relação ao 3º corte na porcentagem de: 62% (TM + C); 53% (SFT + C); 55% (SFT - C); 47% (FB - C); 44% (TM - C); 5% (FB - C), mostrando diferentes respostas aos tratamentos e ao efeito residual da calagem e dos fertilizantes para o cultivo do capim-piatã.

No 4º corte, a MSPA foi maior com aplicação do SFT+C, TM-C e FB-C, que não diferiram entre si. Dessa forma, pode destacar-se o efeito residual do fosfato reativo de Bayóvar na ausência de calcário, promovendo valores de MSPA similar ao SFT+C.

Segundo Sousa e Lobato (2004), os fertilizantes insolúveis em água e em ácido cítrico apresentam apenas 20% da capacidade de fornecer P no primeiro ano, evoluindo para cerca de 35 a 80% (em relação ao superfosfato triplo) nos cultivos subsequentes, evidenciando um bom efeito residual em longo prazo.

Resultados similares foram reportados por Costa et al. (2008), que obtiveram maior MSPA com a utilização do SFT, até o 2º corte do capim-marandu, porém a MSTPA não diferiu entre a fonte solúvel (SFT) e a fonte de menor solubilidade (fosfato reativo de Arad).

Bonfim-Silva et al. (2012), ao avaliar a MSPA do capim-marandu adubado com fosfato reativo de bayóvar em dois cortes, com intervalos de 40 dias, obtiveram maior MSPA no 2º corte, evidenciando maior disponibilidade de fósforo ao longo do experimento.

A massa seca de raiz (MSR) do capim-piatã foi maior nos tratamentos, onde o fornecimento do P foi realizado, utilizando-se SFT ou TM, com ou sem aplicação de calcário (Tabela 1). O esperado efeito benéfico do uso da calagem, por neutralizar o efeito do alumínio e diminuir a intensidade das reações de retenção P, pode não ter sido pronunciado em razão do excesso de P na solução do solo em um curto espaço de tempo, atribuído pela disponibilidade imediata do P, por meio do TM e SFT, fato este indesejado para o crescimento radicular (NOVAIS et al., 2007).

O excesso de cálcio, fornecido pelo uso do calcário, associado à presença de cálcio nas fontes, formando fosfato bicálcico, pode tornar o P indisponível às plantas. Soma-se a isso o fato de o cálcio ser antagonista em relação ao magnésio em relação à absorção, já que o magnésio, também, tem importante função no crescimento radicular (HERNANDEZ; SILVEIRA, 1998; NOVAIS et al., 2007)

A aplicação do FB promoveu o menor valor de MSR (11,44 g vaso⁻¹), quando se utilizou o calcário. Os fosfatos de baixa solubilidade, por apresentarem menor disponibilidade imediata no solo, tornam-se insuficientes para manter uma concentração mínima de P na solução do solo e junto à raiz. Isso proporciona um menor desenvolvimento radicular (NOVAIS et al., 2007). Associado a este fato, a presença de calcário promove a neutralização dos íons hidrogênio em solução, causando menor solubilização do FB, liberando menos fósforo para a solução do solo (RAIJ, 2011).

O menor valor de MSR, com o FB na presença de calcário, é decorrente do cálcio na região da rizosfera fornecido pelo calcário, essa região torna-se muito alcalina e aumenta a capacidade de troca do solo. Isso favorece a ligação do pouco P disponibilizado pelo FB a esse cálcio, presente na solução do solo, o que reduz a disponibilidade de P na solução do solo (OLIBONE, 2005).

A massa seca da parte aérea foi influenciada pela interação ($P < 0,01$) entre doses e fontes de P na presença e ausência de calcário com ajuste quadrático para todos os tratamentos (Figura 1).

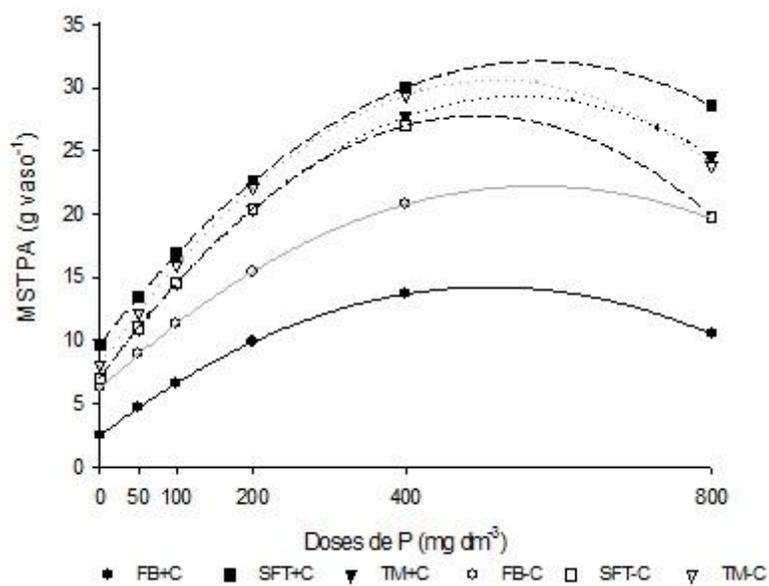


Figura 1 Massa seca total da parte aérea (MSTPA), ao final dos quatro cortes, do capim-piatã fertilizado com diferentes fontes e doses de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário no solo

Os valores máximos de MSTPA total variaram entre 14,23 g vaso⁻¹, com a aplicação de FB + calcário, a 32,08 g vaso⁻¹ com aplicação de SFT + calcário, mostrando diferença igual a 125% (Tabela 3).

Tabela 3 Equações de regressão, coeficientes de determinação (R^2), produção máxima e doses para obtenção da máxima produção (Dose de P) para massa seca total de parte aérea (MSTPA) do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo (P) aplicadas na presença e ausência de calcário

| Tratamentos | Equação | R^2 | Produção Máxima | Dose de P (mg dm^{-3}) |
|-------------|-----------------------------------|--------|-----------------|-----------------------------------|
| | MSPA (g vaso^{-1}) | | | |
| FB+C | $Y = 2,48 + 0,046X - 0,000045X^2$ | 0,93** | 14,23 | 511,11 |
| SFT+C | $Y = 9,71 + 0,078X - 0,000068X^2$ | 0,73** | 32,08 | 573,53 |
| TM+C | $Y = 7,14 + 0,081X - 0,000074X^2$ | 0,79** | 29,31 | 547,30 |
| FB-C | $Y = 6,21 + 0,056X - 0,000049X^2$ | 0,82** | 22,21 | 571,43 |
| SFT-C | $Y = 7,01 + 0,084X - 0,000085X^2$ | 0,78** | 27,76 | 494,12 |
| TM-C | $Y = 8,06 + 0,087X - 0,000084X^2$ | 0,80** | 30,59 | 517,86 |

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

A calagem associada ao SFT proporcionou máxima MSTPA do capim-piatã ($32,08 \text{ g vaso}^{-1}$) na dose de $573,53 \text{ mg dm}^3$ de P, enquanto, na ausência de calcário, essa mesma dose de P proporcionou MSTPA igual a $27,23 \text{ g vaso}^{-1}$, com redução de 18% quando comparados. O FB associado à calagem proporcionou maior MSTPA ($14,23 \text{ g vaso}^{-1}$) na dose de $511,11 \text{ mg dm}^3$, já na ausência de calcário houve um aumento de 54% na MSTPA, com a mesma dose utilizada.

Ramos et al. (2009) avaliaram o efeito da aplicação do superfosfato triplo e fosfato de Arad no capim-marandu e obtiveram maior valor de MSTPA com a utilização de superfosfato triplo.

A massa seca de raiz foi influenciada pela interação ($P < 0,01$) entre doses e fontes de P na presença e ausência de calcário e com ajuste quadrático para todos os tratamentos (Figura 2).

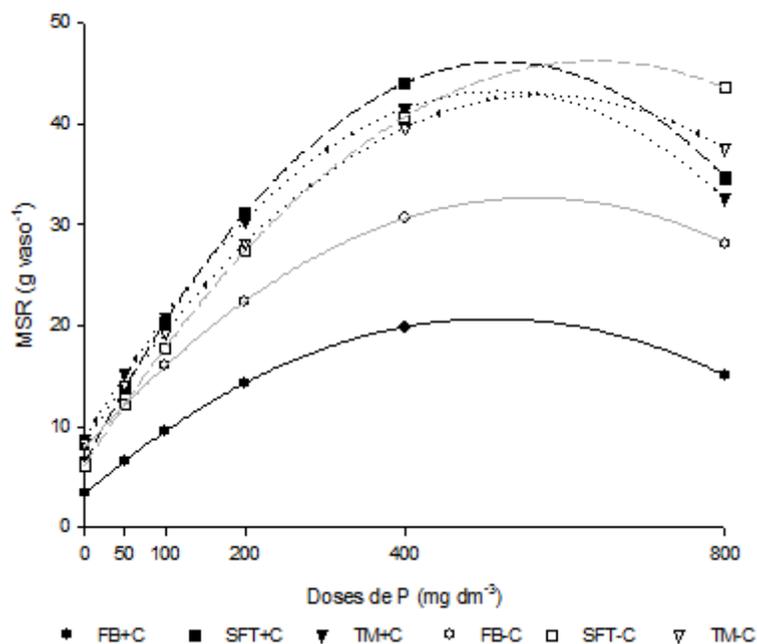


Figura 2 Massa seca de raiz (MSR) do capim-piatã com diferentes fontes e doses de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário

A máxima produção de MSR (45,82 g vaso⁻¹) foi obtida quando o fornecimento de fósforo foi realizado com o SFT na dose de 630 mg dm⁻³ na ausência de calcário (Tabela 4).

Tabela 4 Equações de regressão, coeficientes de determinação (R^2), produção máxima e doses para obtenção máxima da produção (Dose de P) para massa seca de raiz (MSR) do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo (P) aplicadas na presença e ausência de calcário

| Tratamentos | Equação | R^2 | Produção Máxima | Dose de P (mg dm ⁻³) |
|-------------|-----------------------------------|--------|-----------------|----------------------------------|
| | MSR (g vaso ⁻¹) | | | |
| FB+C | $Y = 3,37 + 0,068X - 0,000067X^2$ | 0,83** | 20,62 | 507,46 |
| SFT+C | $Y = 6,50 + 0,152X - 0,000147X^2$ | 0,82** | 45,79 | 517,01 |
| TM+C | $Y = 8,84 + 0,134X - 0,00013X^2$ | 0,78** | 43,37 | 515,38 |
| FB-C | $Y = 7,90 + 0,088X - 0,00008X^2$ | 0,60** | 32,10 | 550,00 |
| SFT-C | $Y = 6,13 + 0,126X - 0,00010X^2$ | 0,88** | 45,82 | 630,00 |
| TM-C | $Y = 8,29 + 0,12X - 0,00010X^2$ | 0,78** | 44,29 | 600,00 |

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Contudo, com a aplicação de SFT+C, podem-se obter valores de MSR (45,79 g vaso⁻¹) bastante próximos da máxima produção, utilizando uma menor dose de P. Esse é mais um resultado que demonstra que, com o uso da calagem, é possível gerar economia de fertilizantes na produção do capim-piatã.

Vale ressaltar que, em todos os tratamentos, a aplicação de P aumentou a produção de MSR em relação à testemunha (0 mg dm⁻³ de P). Este resultado corrobora com os encontrados por Dias et al. (2012) que, ao estudarem doses e fontes de fósforo na produção de capim-marandu, obtiveram aumento de, aproximadamente, 120 % na MSR com a aplicação de P.

Guedes et al. (2009), relatam que uma planta em condições ideais de nutrição, principalmente em relação ao suprimento de fósforo e cálcio, apresenta um maior desenvolvimento de raízes e, como consequência, terá uma maior produção de fotoassimilados. Desta forma, a presença de cálcio na composição do SFT, em conjunto com sua maior solubilidade, contribuiu para obtenção de maior produção de MSR, principalmente, em doses mais elevadas, mesmo sem adição de calcário.

Em solo ácido (SFT-C), foram necessários 113 mg de P a mais do que no solo com acidez neutralizada (SFT+C), para obter a mesma MSR. O cálcio apresenta grande importância para o crescimento de raízes, uma vez que este nutriente atua na divisão celular (MARSCHNER, 2012) e, quando disponível em quantidades adequadas para a planta, favorece o crescimento radicular.

Já quando o fósforo foi aplicado na forma de TM e FB, a produção mais elevada de MSR foi obtida na ausência de calcário (Figura 2).

No 1º corte, de maneira geral, as fontes de fósforo FB+C e FB-C apresentaram menor produção de MSLF. Já o TM promoveu uma produção de MSLF igual ao SFT, independente da presença ou ausência de calagem. (Tabela 5).

Tabela 5 Massa seca de lâminas foliares (MSLF), do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário

| Tratamento | 1ºcorte | 2ºcorte | 3ºcorte | 4ºcorte | Total |
|------------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | MSLF (g vaso ⁻¹) | | | | |
| FB+C | 1,28 B | 2,44 D | 8,96 C | 9,91 C | 22,59 D |
| SFT+C | 11,15 A | 13,11 A | 16,31 A | 12,88 A | 53,45 A |
| TM+C | 10,08 A | 11,11 B | 15,56 A | 11,38 B | 48,13 B |
| FB-C | 3,35 B | 7,82 C | 14,66 B | 11,86 B | 37,69 C |
| SFT-C | 10,65 A | 11,03 B | 14,38 B | 11,25 B | 47,31 B |
| TM-C | 10,15 A | 11,96 B | 15,41 A | 12,78 A | 50,30 B |

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

A menor MSLF obtida no 1º corte com aplicação do FB pode ser explicada pela baixa solubilidade do fósforo presente nesta fonte, já que o tempo não foi suficiente para que ocorresse sua reação no solo.

No 2º corte, a maior MSLF foi obtida com o SFT+C. Para estas características produtivas do capim-piatã, os maiores valores foram obtidos com a aplicação de SFT+C. Já no 3º corte, o TM+C e TM-C igualaram ao SFT+C.

No último corte, a máxima MSLF não diferiu entre as fontes SFT+C e TM-C. O efeito TM-C similar ao do SFT+C demonstra que, no decorrer do tempo, esta fonte é tão eficiente quanto o SFT em promover o crescimento das lâminas foliares do capim-piatã.

De acordo com Sousa, Martha Júnior e Vilela (2007), quando o TM é aplicado na forma finamente moída, apresenta maior solubilidade e eficiência agrônômica equivalente ao SFT. A produção de MSLF, ao final dos quatro cortes, foi máxima com aplicação de fósforo via SFT+C.

A massa seca da lâmina foliar foi influenciada ($P < 0,01$) pela interação entre doses e fontes de P na presença e ausência de calcário e com ajuste quadrático para todos os tratamentos (Figura 3).

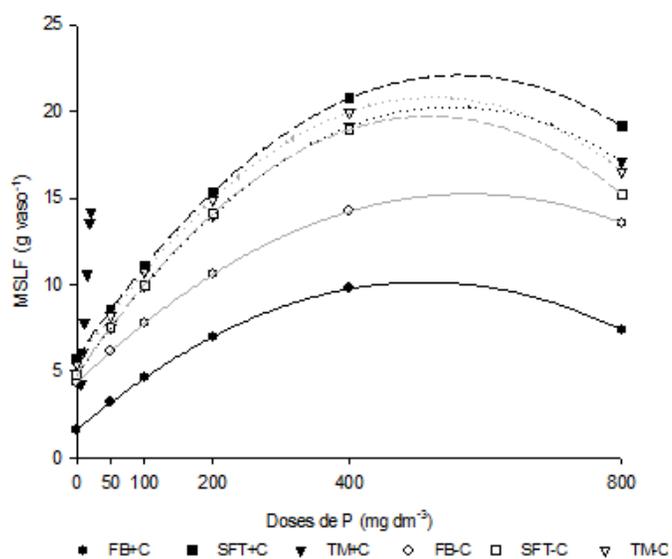


Figura 3 Massa seca de lamina foliares (MSLF) do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário

De maneira geral, a produção de MSLF, em função das doses e de fontes de fósforo, seguiu o mesmo comportamento da produção de MSPA.

A MSLF variou de 8,41 g vaso⁻¹ com aplicação de 454,54 mg dm⁻³ de P pelo FB associado ao calcário até 23,04 g vaso⁻¹ na dose de 576,92 mg dm⁻³ de P fornecida na forma de SFT associado à calagem (Tabela 6).

Tabela 6 Equações de regressão, coeficientes de determinação (R²), produção máxima e doses para obtenção máxima da produção (Dose de P) para massa seca de laminas foliares (MSLF) do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo (P) aplicadas na presença e ausência de calcário

| Tratamentos | Equação | R ² | Produção Máxima | Dose de P (mg dm ⁻³) |
|-------------|----------------------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|
| | MSLF (g vaso ⁻¹) | | | |
| FB+C | $Y = 1,59 + 0,03X - 0,000033X^2$ | 0,95** | 8,41 | 454,54 |
| SFT+C | $Y = 5,73 + 0,06X - 0,000052X^2$ | 0,82** | 23,04 | 576,92 |
| TM+C | $Y = 4,81 + 0,06X - 0,000051X^2$ | 0,80** | 22,46 | 588,23 |
| FB-C | $Y = 4,31 + 0,04X - 0,000033X^2$ | 0,82** | 16,43 | 606,06 |
| SFT-C | $Y = 4,76 + 0,06X - 0,000056X^2$ | 0,79** | 20,83 | 535,71 |
| TM-C | $Y = 5,41 + 0,06X - 0,000056X^2$ | 0,81** | 21,48 | 535,71 |

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Maiores valores de MSLF são desejáveis em áreas de pastagens, pois esta variável representa parte substancial do tecido fotossintético ativo da planta que garante a produção de fotoassimilados da planta. Além disso, a lâmina foliar constitui uma das partes planta com alto valor nutritivo para os animais, principalmente, para ruminantes (ALEXANDRINO et al., 2000). É uma característica que define a qualidade da forragem e favorece a interação pasto-animal (MARASCHIN, 2000).

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) para as fontes de fósforo aplicadas ao longo dos cortes, associadas ou não à calagem, para a massa seca de colmo (Tabela 7).

Tabela 7 Massa seca de colmo (MSC), do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário

| Tratamento | 1º corte | 2º corte | 3º corte | 4º corte | Total |
|------------|-----------------------------|----------|----------|----------|---------|
| | MSC (g vaso ⁻¹) | | | | |
| FB+C | 0,30 D | 1,28 D | 4,65 C | 3,03 A | 9,26 E |
| SFT+C | 6,18 A | 8,14 A | 9,25 A | 3,83 A | 27,40 A |
| TM+C | 4,50 B | 6,39 B | 8,05 B | 3,22 A | 22,16 C |
| FB-C | 1,45 C | 4,41 C | 7,86 B | 3,41 A | 17,13 D |
| SFT-C | 5,02 B | 6,46 B | 7,47 B | 2,85 A | 21,8 C |
| TM-C | 5,14 B | 7,25 B | 8,20 B | 3,61 A | 24,20 B |

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

No 1º corte, o FB na presença de calcário apresentou menor MSC. A maior MSC foi obtida com o SFT+C nos três primeiros cortes. Já no quarto corte não houve diferença entre as fontes.

Para a MSC total, ao final dos quatro cortes, o SFT+C promoveu maiores valores. E o FB+C obteve a menor MSC.

A MSC, também, variou entre as doses e fontes fósforo aplicada na presença e ausência de calcário no solo (Figura 4).

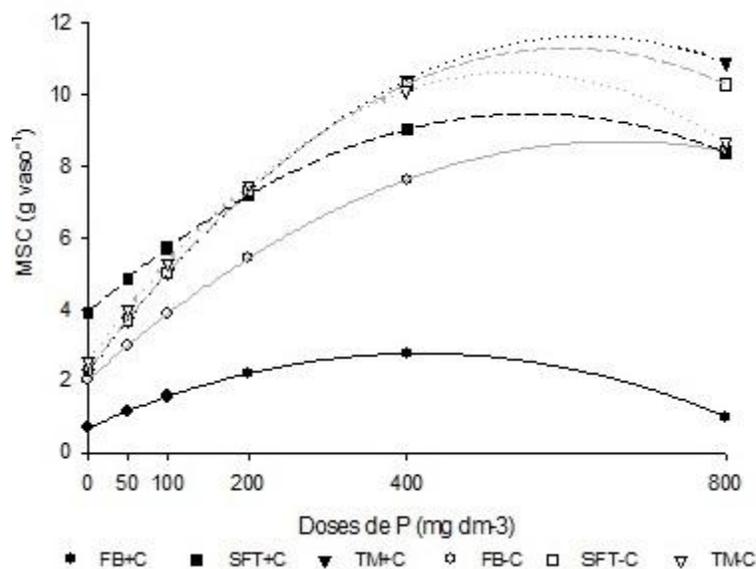


Figura 4 Massa seca de colmo e bainha (MSC) do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário

A máxima MSC foi de 11,61 g vaso⁻¹ na dose de 625 mg dm⁻³ de P aplicada pelo termofosfato magnésiano associado à calagem (Tabela 8). Apesar da maior solubilidade do SFT, a sua máxima produção de MSC foi 9,54 g vaso⁻¹ com a aplicação 555,55 mg dm⁻³ de P com SFT+C, apresentando uma produção cerca de 18% menor em relação ao TM+C.

Tabela 8 Equações de regressão, coeficientes de determinação (R^2), produção máxima e doses para obtenção máxima da produção (Dose de P) para massa seca de colmo e bainha (MSC) do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo (P) aplicadas na presença e ausência de calcário

| Tratamentos | Equação | R^2 | Produção Máxima | Dose de P (mg dm^{-3}) |
|-------------|----------------------------------|--------|-----------------|-----------------------------------|
| | MSC (g vaso^{-1}) | | | |
| FB+C | $Y = 0,69 + 0,01X - 0,000012X^2$ | 0,89** | 2,77 | 416,67 |
| SFT+C | $Y = 3,90 + 0,02X - 0,000018X^2$ | 0,54** | 9,45 | 555,55 |
| TM+C | $Y = 2,24 + 0,03X - 0,000024X^2$ | 0,76** | 11,61 | 625,00 |
| FB-C | $Y = 2,02 + 0,02X - 0,000015X^2$ | 0,79** | 8,69 | 666,66 |
| SFT-C | $Y = 2,28 + 0,03X - 0,000025X^2$ | 0,73** | 11,28 | 600,00 |
| TM-C | $Y = 2,58 + 0,03X - 0,000028X^2$ | 0,79** | 10,62 | 535,71 |

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Oliveira et al. (2012), avaliando doses de fósforo na produção de capim-marandu, verificaram máxima produção de MSC que foi obtida com aplicação de, aproximadamente, 600 mg dm^{-3} de P utilizando como fonte o SFT.

Para Silva et al. (2013), o aumento na massa seca de colmos e bainhas é desejável em pastagens, já que estes são órgãos da planta responsáveis para o armazenamento de substâncias orgânicas em gramíneas, o que pode influenciar positivamente na capacidade de rebrota dos capins.

Dentro de cada corte, a altura de plantas variou com a fonte de fósforo aplicada, associada ou não ao uso do calcário (Tabela 9). Ao longo dos quatro cortes a altura de plantas não diferiu, significativamente, entre as fontes SFT e TM, com ou sem calcário.

Tabela 9 Altura de plantas do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário

| Tratamento | 1º corte | 2º corte | 3º corte | 4º corte |
|------------|------------------------|----------|----------|----------|
| | Altura de plantas (cm) | | | |
| FB+C | 23,95 C | 27,13 B | 51,97 A | 31,02 A |
| SFT+C | 50,99 A | 40,02 A | 47,34 B | 27,66 B |
| TM+C | 49,16 A | 39,49 A | 47,32 B | 25,21 B |
| FB-C | 38,61 B | 43,07 A | 49,33 A | 26,81 B |
| SFT-C | 49,17 A | 38,50 A | 47,30 B | 25,73 B |
| TM-C | 50,52 A | 41,13 A | 47,18 B | 25,99 B |

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância

Nos dois primeiros cortes, a altura de plantas apresentou os menores valores para o FB+C e FB-C, já nos dois últimos cortes os maiores valores de altura foram obtidos com o FB+C e FB-C (terceiro corte) e FB+C (4º corte).

Até o 2º corte foi observado que os tratamentos que promoveram maiores valores de altura de plantas foram os mesmos que permitiram a obtenção de maiores valores MSPA (Tabela 2). Já a partir do 3º corte os fertilizantes fosfatados que promoveram maiores incrementos na altura de plantas diferiram das que geraram maiores produções de MSPA, assim como os resultados obtidos por Bonfim-Silva et al. (2012), ao estudarem a aplicação de fosfatos reativos em capim-marandu cultivado em solo de Cerrado.

A presença de fósforo na solução do solo, em quantidades adequadas, favorece o crescimento das plantas, visto que este elemento atua na síntese e degradação de macromoléculas, além de ser fonte de energia para o metabolismo da planta, por meio do ATP (FAQUIN, 2005). A nutrição adequada de P favorece o crescimento vegetal. Desse modo, a altura de plantas pode ser considerada uma excelente estimativa para a predição do crescimento inicial de plantas forrageiras, sendo, tecnicamente, uma boa medida do potencial de desempenho produtivo das espécies forrageiras como capim-piatã.

A altura de plantas, também, foi influenciada pela interação significativa entre fontes e doses de fósforo (Figura 5).

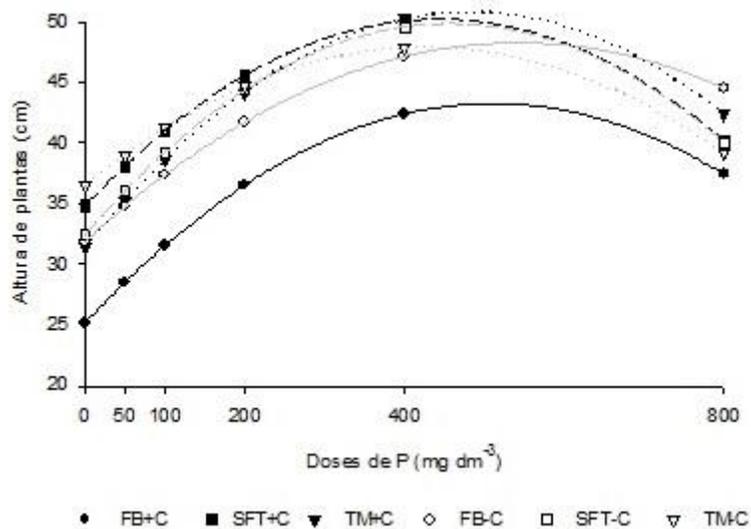


Figura 5 Altura de plantas do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo na presença e ausência de calcário

A fonte TM+C proporcionou altura máxima de plantas de 50,83 cm, com uma dose de 482,14 mg dm⁻³ de P (Tabela 10). Esse valor foi próximo ao obtido pela mesma fonte sem o acréscimo de calcário, 50,02 cm, porém na ausência de calagem, gastou-se menor quantidade de P (458,33 mg dm⁻³).

Tabela 10 Equações de regressão, coeficientes de determinação (R^2), altura máxima e doses para obtenção da máxima altura (Dose de P) do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo (P) aplicadas na presença e ausência de calcário

| Fontes | Equação | R^2 | A. máxima | Dose (mg dm^{-3}) |
|-------------|------------------------------------|--------|-----------|---------------------------------|
| ALTURA (cm) | | | | |
| FB+C | $Y = 25,01 + 0,071X - 0,000070X^2$ | 0,75** | 43,01 | 507,14 |
| SFT+C | $Y = 34,76 + 0,070X - 0,000079X^2$ | 0,51** | 50,27 | 443,04 |
| TM+C | $Y = 31,30 + 0,081X - 0,000084X^2$ | 0,44** | 50,83 | 482,14 |
| FB-C | $Y = 31,79 + 0,061X - 0,000056X^2$ | 0,74** | 48,40 | 544,64 |
| SFT-C | $Y = 32,37 + 0,077X - 0,000084X^2$ | 0,35** | 50,02 | 458,33 |
| TM-C | $Y = 36,45 + 0,054X - 0,000063X^2$ | 0,31** | 48,02 | 428,57 |

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Todas as fontes promoveram maior altura de plantas em relação à testemunha. Nota-se que a adubação é um fator responsável pela elevação precoce dos meristemas apicais das gramíneas (FONSECA et al., 1997).

O FB+C proporcionou menor altura máxima de plantas (43,01 cm) a uma dose de P de 507,14 mg dm^{-3} . Já a fonte FB-C alcançou altura máxima de 48,40 cm a uma dose de P de 544,64 mg dm^{-3} . Os máximos valores de altura do capim-piatã, obtidas pelas outras fontes, foram bastante similares entre os tratamentos SFT+C (50,27 cm), STF-C (50,02) e FB-C (48,40 cm) com aplicação de 443,04, 458,33 e 544,64 mg dm^{-3} de P, respectivamente.

Este resultado demonstra que o TM+C foi eficaz em aumentar o crescimento do capim-piatã, visto que a dose de TM+C exigida, para obtenção de um crescimento máximo, similar a obtida pelo SFT+C, foi inferior à dose de SFT+C em menos de 10%.

O número de perfilhos por plantas diferiram, significativamente, entre as fontes e doses de fósforo aplicadas (Figura 6).

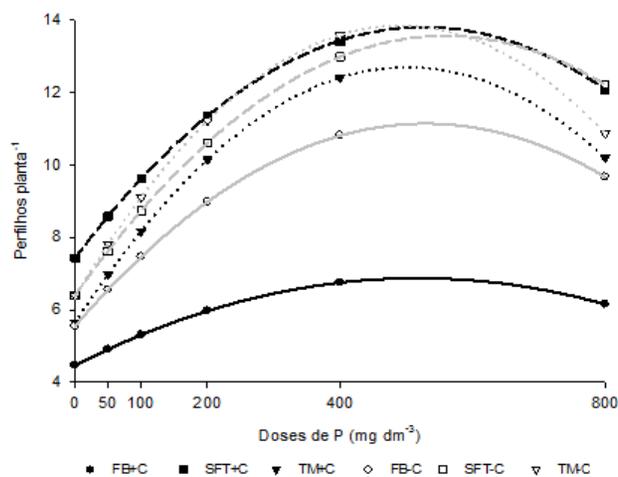


Figura 6 Número de perfilhos por plantas do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário

Observou-se que, para a fonte TM-C, obteve-se o número máximo de perfilhos (14 perfilhos planta⁻¹) com aplicação de uma dose de fósforo, respectivamente 14 e 8% inferior às doses das fontes SFT-C e SFT+C necessárias, para obter o valor máximo de perfilhos (Tabela 11).

Tabela 11 Equações de regressão, coeficientes de determinação (R²), número máximo de perfilhos e doses para obtenção máxima de perfilhos (Dose de P) do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo (P) aplicadas na presença e ausência de calcário

| | NP (perfilhos plantas ⁻¹) | | | |
|-------|---------------------------------------|----------------------|----|--------|
| FB+C | $Y = 4,47 + 0,009X - 0,000009X^2$ | 0,85 ^(ns) | 7 | 500,00 |
| SFT+C | $Y = 7,43 + 0,024X - 0,000023X^2$ | 0,58** | 14 | 521,74 |
| TM+C | $Y = 5,64 + 0,028X - 0,000028X^2$ | 0,84** | 13 | 500,00 |
| FB-C | $Y = 5,65 + 0,021X - 0,000020X^2$ | 0,93** | 11 | 525,00 |
| SFT-C | $Y = 6,39 + 0,026X - 0,000023X^2$ | 0,78** | 14 | 565,22 |
| TM-C | $Y = 6,37 + 0,030X - 0,000031X^2$ | 0,78** | 14 | 483,87 |

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Dias et al. (2012), utilizando um fosfato natural reativo (fosfato Argélia) encontrou resultados similares para o perfilhamento de capim-marandu. O perfilhamento de gramíneas forrageiras é importante para produção de biomassa e representa uma das mais importantes características para o estabelecimento das plantas e da produtividade de pastagens.

Segundo Maya et al. (2001), o aumento no número de perfilhos de gramíneas forrageiras promove um maior incremento na produção de massa seca das pastagens.

Para a relação folha: colmo, não houve interação significativa para fontes e doses. Dentro dos cortes, apresentou diferenças apenas no 1º e no 4º corte (Tabela 12).

Tabela 12 Relação folha:colmo do capim-piatã fertilizado com doses e fontes de fósforo aplicadas na presença e ausência de calcário

| Tratamento | 1ºcorte | 2ºcorte | 3ºcorte | 4ºcorte |
|------------|---------------------|---------|---------|---------|
| | Relação folha:colmo | | | |
| FB+C | 4,87 A | 2,05 A | 2,23 A | 3,33 B |
| SFT+C | 2,02 C | 1,82 A | 1,81 A | 3,30 B |
| TM+C | 2,68 B | 1,89 A | 2,22 A | 3,65 B |
| FB-C | 2,61 B | 1,95 A | 2,19 A | 3,52 B |
| SFT-C | 2,58 B | 1,85 A | 2,21 A | 4,46 A |
| TM-C | 2,08 C | 1,82 A | 1,93 A | 3,66 B |

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância

No primeiro corte a relação folha: colmo seguiu a ordem $FB+C > TM+C = FB-C = SFT-C > SFT+C = TM-C$, já no quarto corte a ordem foi $SFT-C > FB+C = SFT+C = TM+C = FB-C = TM-C$.

Os valores da relação folha: colmo são diretamente influenciados pelos valores de colmos, sendo a mais elevada quando os valores de colmos forem menores. Desse modo, maiores relações folha: colmo são bastante desejáveis na

produção de gramíneas forrageiras. Essa relação é uma variável bastante relevante em estudos sobre gramíneas forrageiras, uma vez que um alto índice de folhas em relação a colmos indica uma melhor adaptação da planta ao pastejo e aos cortes (SILVA et al., 2013).

4 CONCLUSÕES

As características estruturais e produtivas do capim-piatã foram influenciadas pelas doses e fontes de fósforo na presença ou ausência de calcário e os melhores resultados foram obtidos com a utilização de superfosfato triplo aplicado na dose de 573 mg dm de P na presença de calcário.

O FB promove maior crescimento, desenvolvimento e produção do capim-piatã na ausência de calcário.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRINO, E. et al. Efeito de três doses de nitrogênio sobre características da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu após o corte de uniformização. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2000. 1 CD-ROM.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES. São Paulo: ABIEC, 2012. Disponível em: <<http://www.abiec.com.br/3>>. Acesso em: 23 jan. 2013.

BONFIM-SILVA, E. M. et al. Características morfológicas e produtivas do capim-marandu adubado com fosfato natural reativo em solo de cerrado. **Revista Agro@ambiente**, Roraima, v. 6, n. 2, p. 166-171, 2012.

CAIONE, G. et al. Fontes de fósforo em variedades de cana-de-açúcar forrageira. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 66-73, 2011.

CARVALHO, M. M. Melhoramento da produtividade das pastagens através da adubação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 1, p. 23-32, 1985.

COSTA, N. L. et al. "Rendimento de forragem e morfogênese de *Axonopus aureus*, durante o período seco, nos cerrados de Roraima. **Revista Agro@ambiente**, Roraima, v. 6, n. 1, p. 59-66, 2012.

COSTA, S. E. V. G. A. et al. Crescimento e nutrição da braquiária em função de fontes de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1419-1427, set. 2008.

DIAS, D. G. et al. Rendimento forrageiro do capim marandu submetido a diferentes fontes de fósforo. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 10, n. 4, p. 345-350, out./dez. 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos, 1999.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas: textos acadêmicos**. Lavras: UFLA, 2005.

FONSECA, D. M. et al. Fatores que influenciam os níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas e forrageiras. I: casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21. p. 21-27, 1997.

FREIRE, J. C. et al. Resposta do milho em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras-MG. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 4, n. 1, p. 5-8, 1980.

GUEDES, E. M. S. et al. Fosfato natural de arad e calagem e o crescimento da Brachiária brizantha em Latossolo amarelo sob pastagem degradada na Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 52, p. 117-129, jul./dez. 2009.

HERNANDEZ, R. J. M.; SILVEIRA, R. I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no Solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral no Milho (*Zea mays* L.). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 1, p. 79-85, jan./abr. 1998.

HUANG, Q. et al. Construction of root library by SSH and preliminary analysis of genes responsible for phosphorus deficiency in maize. **Russian Journal of Genetics**, New York, v. 46, n. 12, p. 1426-1432, Dec. 2010.

LIMA, S. O.; FIDELIS, R. R.; COSTA, S. J. Avaliação de fontes e doses de fósforo no estabelecimento da Brachiaria brizantha cv. marandu no sul do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 100-105, abr./jun. 2007.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MARASCHIN, G. E. Relembrando o passado, entendendo o presente e planejando o futuro uma herança em forrageiras e um legado em pastagens. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2000. 1 CD-ROM.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MAYA, F. L. A. et al. Determinação da produção de matéria seca ao longo do estabelecimento do capim Tanzânia ("Panicum maximum" Jacq.): densidade populacional de perfilhos x massa por perfilho. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba:SBZ, 2001. p. 143-144.

MELO, S. P.; MONTEIRO, F. A.; MANFREDINI, D. Silicate e phosphate combinations for marandu palisade grass growing on an oxisol. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 3, p. 275-281, May/June 2007.

NAKAYAMA, L. H. I. et al. Eficiência relativa de fontes de fósforo de diferentes solubilidades na cultura do arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 2, p. 183-190, May/Aug. 1998.

NOVAIS, R. F. et al. (Org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

OLIBONE, D. **Variabilidade vertical de formas de fósforo em função de fontes e doses de fosfatos em semeadura direta**. 2005. 115 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual "Julio de Mesquita Filho", Botucatu.

OLIVEIRA, P. S. R. et al. Efeito da adubação com fósforo do capim mombaça em solos com texturas arenosa e argilosa. **Archivos de Zootecnia**, v. 61, n. 235, p. 397-406, 2012.

PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C. de.; FARIA, V. P. de (Ed.). Fertilidade do solo para pastagens produtivas. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 7-31.

PRADO, G. R. et al. Comportamento de superfosfato simples contendo fosfato de ferro de baixa em solubilidade água em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 35, n. 3, p. 907-916, 2011.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2010.

RAIJ, B. V. Condições mínimas de eficiência para fosfatos alternativos ao superfosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 3, p. 235-239, 1986.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**: volume 1. 2. ed. Piracicaba: IPNI, 2011.

RAMOS, S. J. et al. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 33, n. 2, p. 335-343, Mar./Apr. 2009.

REDEL, Y. D. et al. Effects of tillage and crop rotation on chemical phosphorus forms and some related biological activities in a Chilean Ultisol. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 27, n. 2, p. 221-228, June 2011.

RODRIGUES, F. A. et al. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agronômicas**, Belo Horizonte, n. 134, p. 14-20, jun. 2011.

ROSSI, C.; MONTEIRO, F. A. Doses de fósforo, épocas de coleta e o crescimento e diagnose nutricional dos capins braquiária e colonião. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. S1101-S1110, out./dez. 1999.

SILVA, D. R. G. et al. Doses e fontes de nitrogênio na recuperação das características estruturais e produtivas do capim-marandu. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 184-191, jan./mar. 2013.

SILVA, S. C.; CORSI, M. Manejo do pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 20., 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2003. p. 155-186.

SOARES, W. V. et al. Avaliação do fosfato natural de Gafsa para recuperação de pastagem degradada em Latossolo vermelho-escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 819-825, abr. 2000.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

SOUSA, D. M. G.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L. **Cerrado**: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens. Brasília: Embrapa Cerrados, 2007.

SOUZA NETO, J. M. de; PEDREIRA, C. G. S. Caracterização do grau de degradação de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 7-31.

THIBAUD, M. C. A. et al. Dissection of local and systemic transcriptional responses to phosphate starvation in Arabidopsis. **Plant Journal: for cell and molecular biology**, Oxford, v. 64, n. 5, p. 775-789, Dec. 2010.

CAPÍTULO 3 Acúmulo de fósforo e eficiência agronômica do fosfato reativo de bayóvar associado ou não à calagem no cultivo do capim-piatã

RESUMO

A adubação fosfatada é um dos principais problemas em solos brasileiros. O Fosfato de Bayóvar, por ser menos solúvel e apresentar um efeito residual maior, pode ser uma alternativa viável para adubação fosfatada em pastagens. Objetivou-se, com este trabalho, avaliar as características nutricionais e a eficiência agronômica da adubação fosfatada (IEA), na ausência e presença de calagem, em cultivo de capim-piatã. O experimento foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo/UFLA em vasos preenchidos com 5 kg de um Latossolo Vermelho, distrófico de textura argilosa. O delineamento do experimento foi inteiramente casualizado e os tratamentos distribuídos em esquema fatorial 3 x 6 x 2 x 4, sendo três fontes de fósforo: superfosfato triplo (SFT), termofosfato magnésiano (TM) e fosfato reativo de Bayóvar (FB), seis doses de fósforo (0; 50; 100; 200; 400; 800 mg dm⁻³), com (+C) e sem (-C) calcário, e os quatro cortes considerados como sub-parcelas ao longo do tempo, com três repetições. Os tratamentos que tiveram as fontes de P associadas ao uso da calagem receberam a adição de calcário 60 dias antes da aplicação das fontes fosfatadas. Após o período de reação do calcário, foi feita a fertilização fosfatada, 30 dias antes do plantio. Antes da semeadura do capim-piatã foi avaliada a disponibilidade de fósforo no solo pelos métodos Mehlich-1 e Resina, realizando-se adubação com os demais nutrientes e semeou-se o capim-piatã. Após cada corte, obteve-se o teor de P na parte aérea e ao final do experimento o teor de P nas raízes. Com os dados de massa seca e teor de P, obteve-se o acúmulo de P na parte aérea e raiz, calculou-se o IEA e as características nutricionais das fontes fosfatadas, que foram influenciadas pelas doses e fontes de P com e sem calcário. Os melhores resultados foram obtidos com a utilização de SFT (C+). O FB foi mais eficiente quando aplicado na ausência de calcário. O IEA ao final dos quatro cortes seguiu a seguinte ordem: SFT+C = TM+C = TM-C = SFT-C > FB-C > FB+C, comportamento que acompanhou o acúmulo de fósforo na MSPA. O método da Resina se correlacionou melhor com a produção relativa do capim-piatã.

Palavras-chave: Calagem. *Brachiaria brizantha*. Fósforo.

ABSTRACT

Phosphorus (P) fertilization is one of the key problems in Brazilian soils. Because it is less soluble and presents higher residual effect, the Bayóvar phosphate may be a viable alternative for pasture phosphate fertilization. The objective of this study was to evaluate the nutritional characteristics and agronomic efficiency of phosphate fertilizer, with and without limestone, for *Brachiaria brizantha* (cv. *Piatã*). The experiment was conducted in a greenhouse at the Soil Science Department /UFLA in vases containing 5kg of dystrophic Red Latosol, with clay texture. The experimental design was completely randomized with the treatments distributed in a 3 x 6 x 2 factorial scheme. Three sources of phosphorus were tested: triple superphosphate, magnesium thermophosphate and reactive Bayóvar phosphate, in six doses (0; 50; 100; 200; 400; 800 mg dm⁻³), with (+C) or without (-C) limestone, with three replicates, considering the four cuts as sub-plots. In the treatments in which the phosphate fertilization was associated with limestone, the soil received the addition of limestone 60 days before the fertilizer treatments. After the reaction period for the limestone, we performed the phosphate fertilization, 30 days before sowing. The availability of P in the soil was also evaluated before sowing through the Mehlich-1 and Resine methods. Subsequently, we performed the fertilization with other nutrients. After each cut we obtained the content of P of the shoot and, at the end of the experiment, of the roots. With the data of dry mass and P content, we obtained the nutritional characteristics of the phosphate sources, the accumulation of P in the shoot and root, and calculated the AEI, which were influenced by the doses and sources of P, with or without limestone. The best results were obtained using TSP + L. The BP was more efficient when applied in the absence of limestone. At the end of four cuts, the AEI presented the following order: TSP+L = MT+L = MT-L = TSP-L > BP-L > BP+L, behavior which accompanied the accumulation of phosphorus in the DSM. The resin method correlated better with the relative production of *Brachiaria brizantha* (cv. *Piatã*).

Key words: Limestone. *Brachiaria brizantha*. Phosphorus.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de fertilizantes fosfatados, em solos ácidos, tem demonstrado baixa eficiência, já que apenas uma pequena fração do elemento aplicado é utilizada pelas plantas (PHEAV et al., 2003). Com isso, para alcançar altas produtividades, torna-se necessária a aplicação de doses cada vez mais elevadas de fertilizantes.

As fontes de fósforo de baixa solubilidade apresentam menor fixação e maior efeito residual no solo (XIONG et al., 2002), uma vez que a liberação de fósforo, para a solução do solo, é mais lenta (CAIONE et al., 2011). Além disso, os custos por unidade do nutriente são menores (PROCHNOW; FRANCISCO; BRAGA, 2006).

Entre as fontes de fósforo de baixa solubilidade, o termofosfato magnesiano (TM) e o fosfato reativo de Bayóvar (FB) têm sido apontados como alternativas para o suprimento de fósforo às plantas. O TM é obtido por meio de tratamento térmico de rochas fosfatadas em misturas com silicatos de magnésio. Quando aplicado na forma finamente moída, o TM dissolve rapidamente no solo e pode apresentar eficiência agrônômica equivalente aos fosfatos, elevada solubilidade em água, além de corrigir a acidez do solo e suprir magnésio nas plantas (SOUSA; LOBATO, 2004).

O fosfato reativo de Bayóvar constitui-se de uma origem sedimentar e caracteriza-se por apresentar apatitas com alto grau de substituições isomórficas de fosfato por carbonato, resultando em cristais imperfeitos, com grande porosidade (GUEDES et al., 2009). Essa característica lhe confere um menor peso específico e, conseqüentemente, maior área superficial, podendo ser facilmente hidrolisado, sendo, por isso, conhecido como fosfato mole e de grande reatividade (PERUZZO; PÖTTKER; WIETHÖLTER, 1997).

Em curto prazo, os fosfatos de baixa solubilidade apresentam menor eficiência em relação aos fosfatos solúveis em água. No entanto, em longo prazo, o seu efeito residual é geralmente maior (GUEDES et al., 2009). Em algumas condições, a dissolução de fosfatos naturais no solo é favorecida, sendo uma delas a acidez do solo (NOVAIS et al., 2007).

Em solos ácidos e ricos em óxidos de ferro e alumínio, os produtos da reação do fósforo no solo são, em grande parte, fosfatos de ferro e alumínio. Portanto, extratores ácidos não seriam indicados para avaliar a disponibilidade de fósforo nesses solos, a exemplo do método Mehlich-1.

Esse método dissolve resíduos de fosfatos de baixa solubilidade que não estão disponíveis às plantas. Com isso, superestima o fósforo disponível no solo quando utilizado para fontes menos solúveis. Porém, em razão de sua praticidade e baixo custo, ainda é o método mais utilizado.

Os resultados de pesquisa apontam a resina de troca iônica como uma alternativa adequada para extração de fósforo desses solos. A reação de extração do fósforo pela resina age de forma similar à absorção de fósforo pela planta, pois, à medida que o fósforo é removido da solução, há reposição por dissolução desse fósforo lábil, ou seja, fósforo que está disponível à planta (RAIJ, 2011).

Buscou-se, neste trabalho, comparar a nutrição fosfatada e a eficiência agronômica da fertilização com fosfato reativo de Bayóvar a do superfostato triplo e termofostato magnésiano, associados ou não à calagem em cultivo de capim-piatã.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo, na Universidade Federal de Lavras (Lavras - MG). As amostras de solos foram coletadas na camada de 0-20 cm em um Latossolo Vermelho distrófico, de textura argilosa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1999), localizado no município de Lavras (MG).

As amostras de solo foram destorroadas e passadas em peneira de 4 mm de abertura de malha e secas ao ar e as subamostras passadas em peneira com malha de 2 mm para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA) e submetidas a análises físicas e químicas. Apresentaram as seguintes características químicas e físicas: pH em água = 4,5; P mehlich = 2,6 mg dm⁻³; K⁺ = 97 mg dm⁻³; Ca²⁺ = 0,7 cmol dm⁻³; Mg²⁺ = 0,4 cmol dm⁻³; Al³⁺ = 1,4 cmol dm⁻³; (H + Al) = 12,3 cmol dm⁻³; t = 2,7 cmol_c dm⁻³; T = 13,6 cmol_c dm⁻³; Zn = 1,4 mg dm⁻³; Fe = 98,8 mg dm⁻³; Mn = 8,6 mg dm⁻³; Cu = 1,6 mg dm⁻³; B = 0,1 mg dm⁻³; S = 17,7 mg dm⁻³; MO = 6,9 dag kg⁻¹ e P rem = 10,6 mg L⁻¹, argila = 58 dag kg⁻¹, silte = 24 dag kg⁻¹ e areia = 18 dag kg⁻¹.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com três repetições, formado por um fatorial 3 x 6 x 2 x 4, composto por três fontes de P: Superfosfato Triplo (SFT), Termofosfato Magnésiano Yoorin (TM) e Fosfato Reativo de Bayóvar (FB), seis doses de Fósforo (0; 50; 100; 200; 400; 800 mg.dm⁻³ de P₂O₅), com (+C) e sem calagem (-C) e os quatro cortes considerados como sub-parcelas ao longo do tempo.

A parcela experimental foi formada por um vaso contendo 5 kg de solo, totalizando 108 vasos. Para as parcelas que receberam a adição de calcário, foram aplicados CaCO₃ e MgCO₃ (reagentes p.a.) na relação molar de 4:1 de forma a elevar a saturação por base (V) para 45%. O processo de reação do calcário foi de 60 dias. Os diferentes tratamentos com fertilizantes fosfatados

foram incorporados às parcelas após o período de reação do calcário no solo. A quantidade aplicada de cada fonte de fósforo determinou-se levando em conta o teor de P_2O_5 total característico de cada fonte. Em seguida, passaram por um período de incubação de 30 dias.

Após os 30 dias de incubação das fontes às parcelas experimentais, cada vaso foi amostrado para determinação do P-mehlich-1 e P-resina. Posteriormente, realizou-se uma adubação básica, segundo (MALAVOLTA, 1980), com todos os outros nutrientes, exceto o P, por meio de fontes de sais pró-análise. As doses de macro e micronutrientes para cada vaso consistiram de: 100 mg de N; 50 mg de K; 40 mg de S; 5 mg de Zn; 1,5 mg de Cu; 3,6 mg de Mn; 0,8 mg de B; 0,15 mg de Mo por dm^3 , aplicados em solução e misturados aos vasos individualmente para melhor homogeneização.

Após a aplicação da adubação básica, foram semeadas 15 sementes por vaso da *Brachiaria brizanta* cv. Piatã. Foi realizado o desbaste para cinco plantas uma semana após a emergência das plântulas. Durante o cultivo, o capim-piatã recebeu adubações nitrogenada e potássica em cobertura, aplicando-se 300 e 200 mg dm^3 de cada nutriente, respectivamente, parceladas em três aplicações no período compreendido entre cada corte. Durante todo o período de cultivo da forrageira, a umidade dos solos foi mantida próxima a 60% do VTP, por meio de adição de água deionizada.

Aos 60 dias após a semeadura, foi efetuado o primeiro corte da parte aérea da forrageira a dois cm do solo. Foram realizados mais três cortes, com intervalos de 40 dias.

Após cada corte, a fitomassa da forrageira foi seca em estufa de circulação forçada a 65°C até massa constante para a obtenção da produção de massa seca da parte aérea (MSPA), subdividido em folhas e colmo (colmo + bainha das folhas). Em seguida, todo o material vegetal foi triturado em moinho.

Para a quantificação do teor de fósforo foi realizada a digestão nítrico-perclórica da amostra seca do tecido vegetal, seguida de determinação de teor por colorimetria (BRAGA; DEFELIPO, 1974).

Considerando os resultados de cada corte e, também, os resultados acumulados ao final dos quatro cortes, foi determinado o acúmulo de P, obtido por meio do produto entre o teor de P e a produção de massa seca (MS) nos respectivos componentes da planta.

Para comparação dos métodos de avaliação do fósforo disponível no solo (Mehlich 1 e Resina), foi utilizada a produção relativa, que representa a porcentagem de produção obtida no tratamento sem fósforo em relação ao tratamento com fósforo (RAIJ, 2011).

O Índice de Eficiência Agronômica (IEA) foi calculado em todos os cortes e, também, para os resultados acumulados dos quatro cortes, tomando-se o ST como 100% a partir da fórmula (NOVAIS et al., 2007):

$$\text{IEA} = \frac{(\text{Produção Fonte testada}) - (\text{Produção Controle})}{(\text{Produção Superfosfato triplo}) - (\text{Produção Controle})} * 100$$

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando as interações foram significativas, foi realizado o desdobramento das variáveis, por meio do teste de regressão, e as médias foram comparadas entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas, utilizando o programa computacional R Development Core Team (2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as fontes de fósforo, com ou sem aplicação de calcário para o teor de P na massa seca de raiz (Tabela 1).

Tabela 1 Teor de fósforo na massa seca de parte aérea (MSPA) em quatro cortes e na massa seca de raiz (MSR) de plantas capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo, com e sem calcário

| Tratamentos | Teor de fósforo na parte aérea | | | | Raízes |
|--------------------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|--------|
| | 1º corte | 2º corte | 3º corte | 4º corte | |
| ----- g kg ⁻¹ ----- | | | | | |
| FB+C | 1,74 Bb | 2,42 Ab | 3,23 Aa | 2,41 Ab | 0,71 A |
| SFT+C | 2,48 Aa | 2,72 Aa | 2,77 Ba | 2,96 Aa | 0,70 A |
| TM+C | 1,93 Bb | 2,47 Aa | 2,65 Ba | 2,20 Bb | 0,67 A |
| FB-C | 1,76 Bb | 2,76 Aa | 2,96 Aa | 2,20 Bb | 0,71 A |
| SFT-C | 2,22 Ab | 2,67 Aa | 2,61 Ba | 2,06 Bb | 0,69 A |
| TM-C | 1,84 Bb | 2,28 Ab | 2,96 Aa | 2,11 Bb | 0,73 A |

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

O teor de fósforo na MSPA do capim-piatã variou, significativamente, entre as fontes de fósforo em cada um dos quatro cortes do capim-piatã.

O maior teor de P ocorreu no 2º corte, quando o suprimento deste nutriente foi realizado com TM+C (2,47 g kg⁻¹), FB-C (2,96 g kg⁻¹) e SFT-C (2,67 g kg⁻¹) e no 3º corte para todas as fontes, exceto para o SFT+C e o TM-C.

Segundo Guedes et al. (2009), o maior teor de fósforo na MSPA nos dois últimos cortes com aplicação de fosfato natural comprova o efeito residual benéfico a médio e longo prazo e a sua importância para produção de gramíneas forrageiras.

De maneira geral, os teores de fósforo na MSPA, em todas as fontes de fósforo aplicadas (exceto FB+C que ultrapassou 3 g kg⁻¹ no terceiro corte),

encontram-se dentro dos níveis considerados adequados de $0,8$ a 3 g kg^{-1} para o capim-piatã (SOUSA; LOBATO, 2004). Contudo, vale ressaltar que o teor de fósforo na MSPA nem sempre apresenta uma relação direta com a produção de MSPA. Dessa forma, plantas que apresentam maior produção de MSPA podem apresentar menores teores de fósforo em seu tecido, como consequência do efeito diluição (FAQUIN et al., 1997).

O efeito das doses e fontes de fósforo para o teor de fósforo na MSPA foi significativo, onde o modelo de melhor ajuste foi o quadrático (Figura 1). Para o FB+C não houve ajuste de regressão.

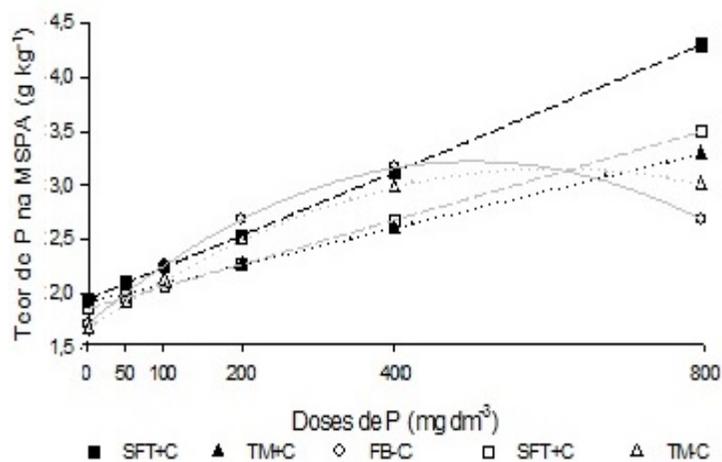


Figura 1 Teor de fósforo (P) na massa seca de parte aérea (MSPA) de plantas do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo, com e sem calcário

Nos tratamentos com SFT+C, TM+C e SFT-C o teor de fósforo na MSPA apresentou comportamento linear com o aumento das doses de fósforo.

Já nas fontes FB-C e TM-C o teor de fósforo na MSPA apresentou ajuste quadrático à elevação das doses de fósforo. Para o FB-C, o teor máximo (3,22 g kg⁻¹) foi obtido na dose de 500 mg kg⁻¹ de fósforo.

Quando o suprimento de fósforo foi feito com o TM-C, teor mais elevado do nutriente na MSPA (3,17 g kg⁻¹) foi obtido na dose 612,5 mg kg⁻¹ de fósforo (Tabela 2).

Tabela 2 Equações de regressão, coeficientes de determinação (R²) para o teor de fósforo na massa seca de parte aérea (MSPA) do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo, com e sem calcário

| Tratamentos | Equação | R ² |
|-------------|---|----------------|
| SFT+C | Y = 1,8595 + 0,002 P | 0,93** |
| TM+C | Y = 1,9167 + 0,0017 P | 0,88** |
| FB-C | Y = 1,7211 + 0,0060 P - 0,000006 P ² | 0,91** |
| SFT-C | Y = 1,9500 + 0,0029 P | 0,80** |
| TM-C | Y = 1,6734 + 0,0049 P - 0,000004 P ² | 0,95** |

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

O acúmulo de fósforo na MSPA variou significativamente ($p < 0,05$) entre cortes e fontes de fósforo (Tabela 3).

Tabela 3 Acúmulo de fósforo na massa seca de parte aérea (MSPA) em quatro cortes, na massa seca total ao final dos quatro cortes (MST) e massa seca de raízes (MSR) do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo, com e sem calcário

| Tratamento | Acúmulo de P | | | | Raízes | Total |
|-----------------------------------|--------------|----------|----------|----------|---------|----------|
| | 1ºcorte | 2ºcorte | 3ºcorte | 4ºcorte | | |
| ----- mg vaso ⁻¹ ----- | | | | | | |
| FB+C | 2,70 Db | 9,61 Db | 46,26 Ba | 34,99 Ba | 8,80 C | 93,56 D |
| SFT+C | 44,49 Ad | 66,04 Ab | 78,68 Aa | 57,44 Ac | 19,39 A | 246,65 A |
| TM+C | 28,88 Cb | 44,60 Ba | 72,86 Aa | 36,53 Bb | 18,70 A | 182,87 B |
| FB-C | 8,48 Dc | 36,75 Cb | 72,82 Aa | 38,66 Bb | 15,29 B | 156,71 C |
| SFT-C | 36,17 Bb | 49,67 Ba | 66,35 Aa | 32,87 Bb | 19,64 A | 185,06 B |
| TM-C | 28,34 Cc | 46,73 Bb | 76,43 Aa | 40,26 Bb | 20,11 A | 191,76 B |

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

Para todas as fontes de fósforo, o maior acúmulo de fósforo foi observado no 3º corte.

As fontes que promoveram o maior acúmulo de fósforo, ao longo dos quatro cortes do capim-piatã, também, favoreceram os maiores valores de MSPA.

No 1º e 2º cortes, o SFT na presença de calcário promoveu maior acúmulo de P.

Costa et al. (2008), ao avaliarem o acúmulo de fósforo na MSPA de capim-marandu cultivado sob diferentes fontes de fósforo, no primeiro corte, também, encontraram maiores acúmulos de fósforo com aplicação de SFT. Resultados similares foram reportados por Ramos et al. (2009), ao avaliarem o acúmulo de fósforo no capim-marandu, cultivado sob fosfatos de diferentes solubilidades (superfosfato triplo e fosfato reativo de Arad).

O acúmulo mais elevado de fósforo promovido pelo o SFT+C, nos dois primeiros cortes, é em função da maior solubilidade dessa fonte de fósforo. Este

resultado enfatiza a maior capacidade do SFT em suprir P em curto prazo (PROCHNOW; FRANCISCO; BRAGA, 2006).

Já o fosfato de Bayóvar promoveu o menor acúmulo de P no 1º e 2º cortes, indicando que o uso de fontes menos solúveis não é recomendado nessa fase vegetativa (FREIRE; FONSECA; CANTARUTTI, 2005). Nessa fase, as fontes solúveis de P, como o SFT, são mais indicadas, pois conseguem suprir a demanda pelo nutriente nesse curto período após o plantio do capim-piatã (MACIEL et al., 2007).

No 3º corte, o acúmulo de fósforo diferiu apenas para o FB+C, que apresentou menor acúmulo (Tabela 3).

Resultados similares foram verificados por Costa et al. (2008), quando os autores observaram menores acúmulos de fósforo no tecido de capim-marandu, para fosfatos de baixa solubilidade, na presença de calcário. O menor acúmulo de fósforo, com a aplicação de FB+C, indica a baixa liberação do poder de fósforo para o solo e da planta quando sua aplicação é realizada de forma conjunta ao calcário.

O fosfato de Bayóvar, quando utilizado em solo ácido, promove acúmulo de P pelo capim-piatã semelhante ao SFT no 3º corte, o que mostra um bom efeito residual desta fonte em solos com acidez não corrigida ao longo do tempo (NUNES et al., 2011).

No 4º corte, as fontes de menor solubilidade apresentaram acúmulo de fósforo semelhante à fonte SFT aplicada na ausência de calcário. Entretanto, na presença de calcário, o superfosfato triplo (SFT+C), ainda, promoveu maior acúmulo de P em relação às demais fontes.

Maciel et al. (2007), ao estudarem o efeito de fontes de fósforo no capim-marandu, cultivado em Latossolo, observaram maiores acúmulos de fósforo no tecido vegetal com a aplicação de SFT em relação a uma fonte de menor solubilidade (fosfato de Araxá). O maior acúmulo de fósforo, para a fonte

SFT, na presença de calagem, pode estar associado ao melhor aproveitamento do fósforo pela planta em função do efeito corretivo da acidez pela calagem.

O acúmulo de fósforo nas raízes foi maior com a aplicação de SFT e TM, tanto na presença, quanto na ausência de calcário (Tabela 2). O menor acúmulo de fósforo na MSR foi observado para o FB+C, o que pode estar associado à menor disponibilidade de cálcio por essa fonte em curto prazo (SOUSA; MARTHA JÚNIOR; VILELA, 2007).

O maior acúmulo foi observado com o SFT+C em todas as doses de fósforo estudadas, em relação às demais fontes (Figura 2).

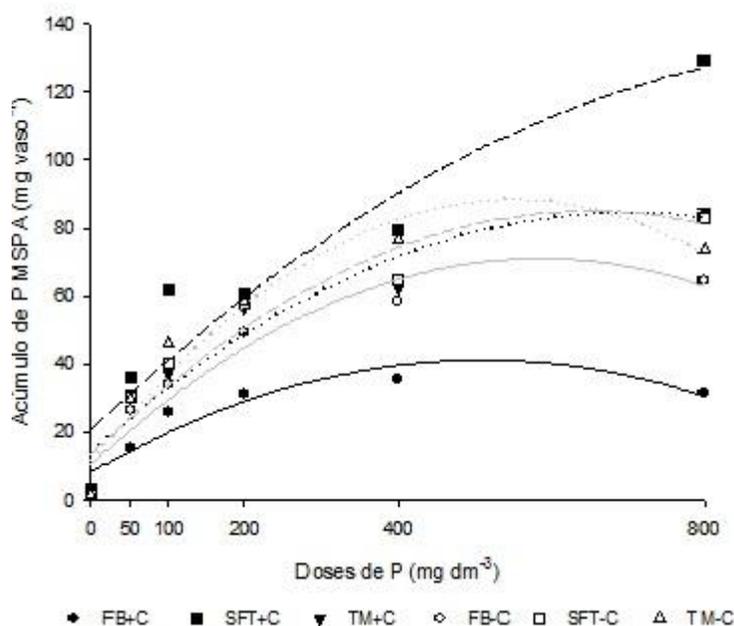


Figura 2 Acúmulo de fósforo (P) na massa seca da parte aérea (MSPA) do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo, com e sem calcário

As diferenças relativas no acúmulo de fósforo, entre o SFT+C e as demais fontes estudadas, foi menor nas menores doses e máximas na maior dose de fósforo aplicada (Tabela 4). O acúmulo de fósforo apresenta uma relação com a solubilidade da fonte de fósforo aplicada.

Tabela 4 Equações de regressão, coeficientes de determinação (R^2) para o acúmulo de fósforo na massa seca de parte aérea (MSPA) do capim-piatã cultivadas sob diferentes fontes e doses de fósforo

| Tratamentos | Equação | R^2 |
|-------------|---------------------------------------|--------|
| FB+C | $Y = 8,3656 + 0,1285 P - 0,0001 P^2$ | 0,94** |
| SFT+C | $Y = 20,8612 + 0,2137 P - 0,0001 P^2$ | 0,95** |
| TM+C | $Y = 14,5143 + 0,1993 P - 0,0001 P^2$ | 0,96** |
| FB-C | $Y = 10,6700 + 0,2055 P - 0,0002 P^2$ | 0,96** |
| SFT-C | $Y = 13,5526 + 0,2190 P - 0,0002 P^2$ | 0,95** |
| TM-C | $Y = 11,7066 + 0,2780 P - 0,0003 P^2$ | 0,97** |

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

O acúmulo de fósforo na massa seca de raiz (MSR) em função das doses apresentou comportamento linear para a fonte SFT-C e quadrático para as demais fontes (Figura 3).

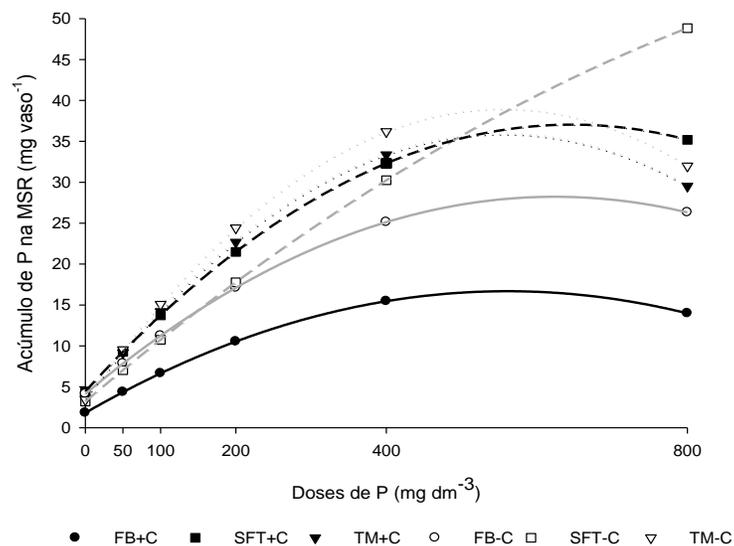


Figura 3 Acúmulo de fósforo (P) na massa seca de raiz (MSR) do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo

Para as fontes de menor solubilidade (TM e FB), em todas as doses estudadas, o acúmulo de fósforo foi mais elevado quando o suprimento de fósforo aconteceu na ausência de calcário.

O maior acúmulo de fósforo ns raízes foi obtido com a máxima dose aplicada (800 mg dm⁻³), com o SFT-C. No entanto, vale ressaltar que a dose que apresentou o maior acúmulo não foi a mesma que promoveu a maior MSPA (Tabela 5).

Tabela 5 Equações de regressão, coeficientes de determinação (R^2) para o acúmulo de fósforo na massa seca de raiz (MSR) do capim-piatã sob diferentes fontes e doses de fósforo

| Tratamentos | Equação | R^2 |
|-------------|------------------------------------|--------|
| FB+C | $Y = 1,81 + 0,05 P - 0,000047 P^2$ | 0,86** |
| SFT+C | $Y = 4,42 + 0,10 P - 0,000078 P^2$ | 0,70** |
| TM+C | $Y = 3,60 + 0,12 P - 0,000105 P^2$ | 0,82** |
| FB-C | $Y = 4,13 + 0,08 P - 0,000062 P^2$ | 0,72** |
| SFT-C | $Y = 4,95 + 0,06 P$ | 0,99** |
| TM-C | $Y = 3,41 + 0,13 P - 0,000116 P^2$ | 0,79** |

* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Os IEA variaram entre as fontes para os quatro cortes efetuados e para o IEA total ao final dos quatro cortes (Tabela 6).

Tabela 6 Eficiência agronômica das fontes de fósforo, com ou sem calcário, em relação ao superfosfato triplo (SFT) na produção de massa de parte aérea do capim-piatã

| Tratamento ¹ | 1ºcorte | 2ºcorte | 3ºcorte | 4ºcorte | Total |
|-------------------------|---------------|---------|---------|---------|-------|
| | ----- % ----- | | | | |
| FB+C | 24 Ca | 26 Ca | 44 Cb | 57 Bb | 38 C |
| ST+C | 100 Aa | 100 Aa | 100 Aa | 100 Aa | 100 A |
| TM+C | 98 Aa | 93 Aa | 99 Aa | 99 Aa | 97 A |
| FB-C | 53 Ba | 66 Ba | 84 Bb | 86 Ab | 72 B |
| ST-C | 97 Aa | 90 Aa | 91 Ba | 92 Aa | 92 A |
| TM-C | 95 Aa | 96 Aa | 95 Aa | 100 Aa | 96 A |

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

As fontes TM+C, TM-C e ST-C apresentaram IEA iguais ao SFT+C nos dois primeiros cortes realizados.

Para o IEA calculado em relação aos quatro cortes (total), os valores observados para TM não diferiram em relação aos valores de referência (SFT+C), tanto na presença quanto na ausência de calcário. Apesar de TM ser

um fertilizante de baixa solubilidade em água, o seu elevado IEA pode ser atribuído não só ao fornecimento de fósforo, mas também à presença de cálcio e magnésio em sua composição, o que favorece a melhoria das condições químicas do solo (MALAVOLTA, 2006).

Resende et al. (2006), também, não encontraram diferenças entre o TM e o SFT na cultura do milho ao final de três cultivos, onde os fertilizantes foram aplicadas no sulco de semeadura.

Para a fonte FB, o IEA foi inferior às demais fontes de fósforo nos quatro cortes e no total, independentemente da presença ou da ausência de calcário. Contudo, ao longo dos cortes o IEA para esta fonte foi crescente, com ou sem a adição de calcário. Esse comportamento evolução ao longo dos cortes foi observado por Bonfim-Silva et al. (2012), que avaliaram a massa do capim-marandu sob aplicação de fosfato reativo de Bayóvar.

Costa et al. (2008), avaliando fontes de fósforo de baixa solubilidade (fosfato reativo de Arad e fosfato natural de Araxá) em capim-marandu, observaram aumento do IEA ao longo do tempo. Segundo estes autores, o aumento do IEA destas fontes é justificado pelo efeito residual dos fosfatos naturais reativos e menor adsorção de fósforo, no decorrer de quatro cortes, uma vez que a liberação de fósforo para a solução do solo é mais lenta (CAIONE et al., 2011).

Quando o FB foi aplicado na presença de calcário (FB+C), observou-se um decréscimo no IEA em relação FB-C.

Prochnow; Francisco; Braga,(2006), avaliando a eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados com diferentes solubilidades em água, também encontraram maior eficiência para as fontes de menor solubilidade aplicadas em solos com maior capacidade de adsorção de fósforo, ou seja, sem acidez corrigida.

Segundo Rajan, Watkinson e Sinclair (1996), os fosfatos naturais são fontes ideais para o cultivo de plantas perenes, pois liberam gradualmente o fósforo para a solução do solo. Dessa forma, podem minimizar a fixação de fósforo por óxidos de ferro e alumínio e, com isso, diminuir os custos por unidade de fósforo (PROCHNOW; FRANCISCO; BRAGA, 2006).

O extrator Mehlich-1 apresentou maior valor de fósforo disponível (212 mg dm^{-3}) com a aplicação do FB-C Porém, esse aumento na disponibilidade de fósforo não se correlacionou diretamente com a produção relativa do capim-piatã (Figura 4). A maior produção relativa foi proporcionada pela aplicação do SFT+C, com 115 mg dm^{-3} de fósforo disponível, valores esses bem abaixo do observado com a aplicação do FB-C.

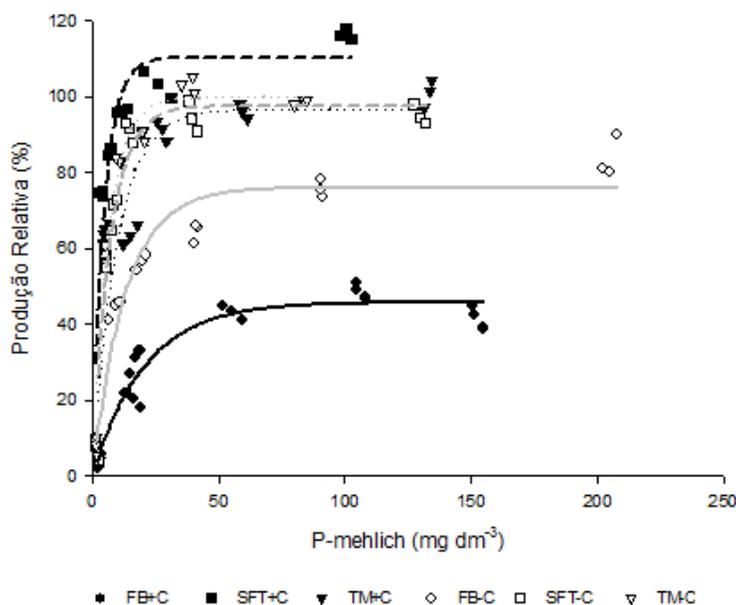


Figura 4 Relações da produção relativa do capim-piatã *versus* fósforo disponível estimado pelo extrator Mehlich-1, sob diferentes fontes e doses de fósforo, com e sem calcário

O fósforo recuperado pelo extrator Mehlich-1 não apresentou respostas correspondentes em termos de produção para o capim-piatã, superestimando o fósforo presente no FB, principalmente, na ausência de calagem, condição na qual existe uma quantidade maior de Fe e Al ligado a P, mas que não estão disponíveis para o capim-piatã

Kliemann e Lima (2001), estudando diferentes extratores, para avaliar o fósforo disponível sob aplicação de fontes fosfatadas, também, observaram valores superestimados de fósforo disponível utilizando o método Mehlich-1, sob aplicação de fosfatos naturais (Fosfato de Araxá, de Patos de Minas, Tapira e de Catalão). Segundo os autores, os extratores ácidos (Mehlich-1) solubilizam os fosfatos naturais aplicados ao solo, mesmo o fósforo não disponível às plantas.

De acordo com Raij (2011), as soluções utilizadas neste extrator apresentam pH entre 2 e 3, e isso permite assegurar a dissolução de todo o fosfato de cálcio presente nos fertilizantes fosfatados, principalmente, nos fosfatos naturais.

Isso não ocorre com o método da resina que extrai o fósforo da solução do solo por mecanismo de troca iônica. Neste, o fósforo da solução passa para a resina por troca de íons, originários da própria resina, que vão para a solução a fim de manter o equilíbrio químico, permitindo uma analogia com a absorção de fósforo pela planta (SCHLINDWEIN; GIANELLO, 2008; RAIJ, 2011).

Para o método da resina de troca iônica, é possível observar uma relação direta com a produção relativa (Figura 5). O SFT+C, que obteve maior fósforo disponível por esse método (560 mg dm^{-3}), também, proporcionou a maior produção relativa do capim-piatã.

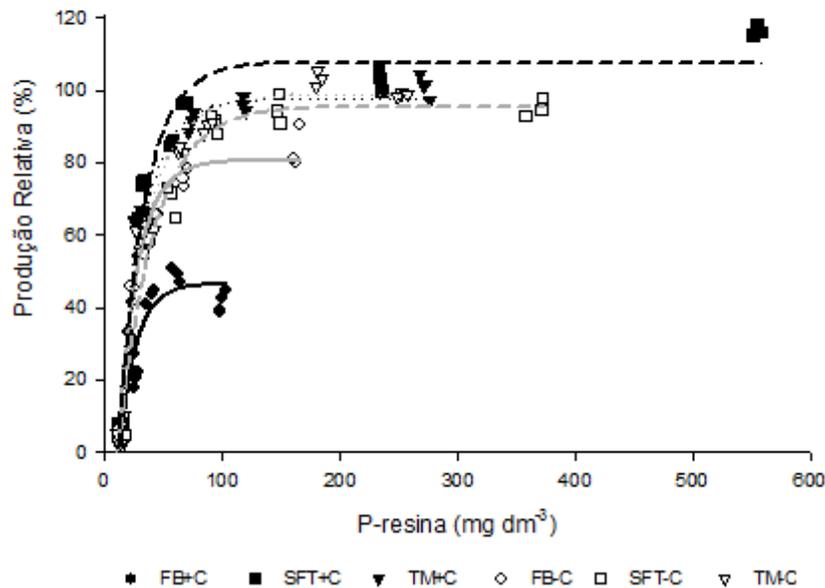


Figura 5 Relações da produção relativa do capim-piatã *versus* fósforo disponível estimado pela resina de troca iônica, sob diferentes fontes e doses de fósforo, com e sem calcário

O FB apresentou menores valores de produção relativa do capim-piatã, sendo menor na presença de calcário. Esta menor produção correlaciona-se diretamente com os menores valores de fósforo disponível quando se utilizou o método da resina de troca iônica para esta fonte.

Estes resultados corroboram com os encontrados por Silva e Raij (1999), ao avaliarem a disponibilidade de fósforo em solos por diferentes extratores, onde obtiveram melhores relações de produção quando utilizaram o método da resina de troca iônica. Desta forma, o método da resina se destaca como a melhor maneira de avaliar a disponibilidade de fósforo com a utilização do fosfato reativo de Bayóvar.

De acordo com Silva e Raij (1999), o método da resina não superestima a disponibilidade de fósforo em solos tratados com fosfatos naturais, como acontece com o extrator Mehlich-1. Ainda, segundo os autores, o método da resina é o que apresenta o melhor embasamento teórico para a determinação do chamado “fator quantidade” de fósforo em solos, que é o mais importante índice da disponibilidade do nutriente.

4 CONCLUSÕES

Os maiores valores de teor e acúmulo de P ocorreram com a aplicação do SFT associado ao calcário.

O índice de eficiência agronômica ao final dos quatro cortes seguiu a seguinte ordem: SFT+C = TM+C = TM-C = SFT-C > FB-C > FB+C, comportamento que acompanhou o acúmulo de fósforo na MSPA.

O IEA do FB é maior na ausência de calagem.

O método da resina apresenta uma melhor correlação entre disponibilidade de P e produção relativa do capim-piatã, quando comparado ao extrator Mehlich-1.

Em solos fertilizados com o fosfato reativo de Bayóvar a avaliação da disponibilidade de P deve ser realizada com a metodologia da resina trocadora de ânions.

REFERÊNCIAS

- BHATTI, T. M.; YAWAR, W. Bacterial solubilization of phosphorus from phosphate rock containing sulfur-mud. **Hydrometallurgy**, Amsterdam, v. 103, n. 1-4, p. 54-59, June 2010.
- BONFIM-SILVA, E. M. et al. Características morfológicas e produtivas do capim-marandu adubado com fosfato natural reativo em solo de cerrado. **Revista Agro@ambiente**, Roraima, v. 6, n. 2, p. 166-171, 2012.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 73-85, 1974.
- BULL, L. T. et al. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, v. 5, p. 516-521, Sept./Oct. 2004.
- CAIONE, G. et al. Fontes de fósforo em variedades de cana-de-açúcar forrageira. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 66-73, 2011.
- COSTA, N. L. et al. "Rendimento de forragem e morfogênese de *Axonopus aureus*, durante o período seco, nos cerrados de Roraima. **Revista Agro@ambiente**, Roraima, v. 6, n. 1, p. 59-66, 2012.
- COSTA, S. E. V. G. A. et al. Crescimento e nutrição da braquiária em função de fontes de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1419-1427, set. 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos, 1999.
- FAQUIN, V. et al. Nutrição mineral em fósforo, cálcio e magnésio do Braquiarão em amostras de Latossolo dos Campos das Vertentes sob influência de calagem e fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 1074-1082, 1997.

FREIRE, F. M.; FONSECA, D. M.; CANTARUTTI, R. B. Manejo da fertilidade do solo em pastagens. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 226, p. 44-53, 2005.

FREIRE, J. C. et al. Resposta do milho em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras-MG. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 4, n. 1, p. 5-8, 1980.

GUEDES, E. M. S. et al. Fosfato natural de arad e calagem e o crescimento da Brachiária brizantha em Latossolo amarelo sob pastagem degradada na Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 52, p. 117-129, jul./dez. 2009.

KLIEMANN, H. J.; LIMA, D. V. Eficiência agronômica de fosfatos naturais e sua influência no fósforo disponível em dois solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 31, n. 22, p. 111-119, 2001.

MACIEL, G. A. et al. Efeito de diferentes fontes de fósforo na Brachiaria Brizantha cv. Marandu cultivada em dois tipos de Solos. **Ciência Animal Brasileira**, Goiás, v. 8, n. 2, p. 227-233, abr./jun. 2007.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; MORAES, L. A. C. Eficiência de fontes e doses fósforo na alfafa e na centrosema cultivadas em Latossolo Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1459-1466, out. 2002.

NOVAIS, R. F. et al. (Org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, J. T.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

NUNES, R. S. et al. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 35, p. 877-888, 2011.

PERUZZO, G.; PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Avaliação da eficiência agronômica dos fosfatos naturais reativos de Arad e de Gafsa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.

PHEAV, S. et al. Fate of applied fertilizer phosphorus in a highly weathered sandy soil under lowland rice cropping, and its residual effect. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 1-16, 2003.

PRADO, G. R. et al. Comportamento de superfosfato simples contendo fosfato de ferro de baixa em solubilidade água em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 35, n. 3, p. 907-916, 2011.

PROCHNOW, L. S.; FRANCISCO, J. F. B.; BRAGA, E. A. G. Effectiveness of phosphate fertilizers of different water solubilities in relation to soil phosphorus adsorption. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, v. 4, p. 333-340, July/Aug. 2006.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2010.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**: volume 1. 2. ed. Piracicaba: IPNI, 2011.

RAJAN, S. S. S.; WATKINSON, J. H.; SINCLAIR, A. G. Phosphate rocks for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 57, p. 77-159, 1996.

RAMOS, S. J. et al. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 33, n. 2, p. 335-343, Mar./Apr. 2009.

RESENDE, A. V. et al. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 453-466, 2006.

RESENDE, A. V. **Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado**. 2004. 169 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RESENDE, F. et al. Phosphorus cycling in a small watershed in the Brazilian Cerrado: impacts of frequent burning. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 105, n. 1-3, p. 105-118, Sept. 2011.

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Nível de suficiência e índice de equivalência entre o fósforo determinado pelos métodos da resina de troca iônica e mehlich-1. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 14, n. 2, p. 299-306, abr./jun. 2008.

SILVA, F. C.; RAIJ, B. V. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 267-288, fev. 1999.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

SOUSA, D. M. G.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L. **Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2007.

THANHNGUYEN, B. T.; MARSCHNER, P. Effect of drying and rewetting on phosphorus transformations in red brown soils with different soil organic matter content. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 37, n. 8, p. 1573-1576, Aug. 2005.

XIONG, L. M. et al. Isotopic assessment of soil phosphorus fertility and evaluation of rock phosphates as phosphorus sources for plants in subtropical China. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 63, n. 1, p. 91-98, May 2002.