



## Proporção de fertilizantes fosfatados no cultivo de forrageira tropical em casa de vegetação

Cabral, Carlos Eduardo Avelino<sup>1,5</sup>; Luciano da Silva Cabral<sup>1</sup>; Edna Maria Bonfim-Silva<sup>2</sup>; Kassio dos Santos Carvalho<sup>3</sup>; Maristela de Oliveira Bauer<sup>4</sup>; Carla Heloisa Avelino Cabral<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Mato Grosso, Departamento de Zootecnia e Extensão Rural, CEP 78068 000, Cuiabá, MT; <sup>2</sup>Universidade Federal do Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, CEP 78700 000, Rondonópolis, MT; <sup>3</sup>Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Programa de Pós-graduação de Engenharia de Sistemas Agrícolas, CEP 13418-900, Piracicaba, SP; <sup>4</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, CEP 29500-000, Alegre, ES; <sup>5</sup>[carlos.eduardocabral@hotmail.com](mailto:carlos.eduardocabral@hotmail.com)

Cabral, Carlos Eduardo Avelino; Luciano da Silva Cabral; Edna Maria Bonfim-Silva; Kassio dos Santos Carvalho; Maristela de Oliveira Bauer; Carla Heloisa Avelino Cabral (2015) Proporção de fertilizantes fosfatados no cultivo de forrageira tropical em casa de vegetação. Rev. Fac. Agron. Vol 114 (2): 193-200

Objetivou-se identificar a proporção de fosfato natural reativo e superfosfato simples em que há maior produção e valor SPAD do capim-marandu cultivado em Latossolo Vermelho argilo arenoso com baixo teor de fósforo. O experimento foi realizado em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com oito repetições e em esquema de parcelas subdivididas no tempo. Para massa seca de raízes e custo da adubação fosfatada não se adotou esquema de parcelas subdivididas no tempo. As parcelas consistiram em seis níveis de substituição de superfosfato simples por fosfato natural reativo: 0, 20, 40, 60, 80 e 100%. As subparcelas consistiram em três períodos de crescimento: 30, 50 e 70 dias após a emergência das plântulas. As variáveis avaliadas foram: massa seca da parte aérea, lâminas foliares, colmo+bainha, resíduo e raízes, número de folhas, perfilhos, valor SPAD e custo da adubação fosfatada. A máxima produção de massa seca da parte aérea e o menor custo da adubação fosfatada do capim-marandu ocorrem quando se aplica, após a calagem, 35% do fósforo na forma de fosfato natural reativo e 65% na forma de superfosfato simples.

**Palavras chave:** *Brachiaria brizantha*, capim, fosfato natural, fósforo, superfosfato

Cabral, Carlos Eduardo Avelino; Luciano da Silva Cabral; Edna Maria Bonfim-Silva; Kassio dos Santos Carvalho; Maristela de Oliveira Bauer; Carla Heloisa Avelino Cabral (2015) Proportion of phosphate fertilizer in tropical forage grass in Oxisol. Rev. Fac. Agron. Vol 114 (2): 193-200

This study aimed to identify the optimal proportion of rock phosphate and superphosphate in which there is increased production and SPAD value of palisadegrass grown in sandy clayey Oxisol with low phosphorus. A greenhouse experiment was conducted as split plot (time) design, with eight replications. Main plots consisted of six levels of substitution of superphosphate by rock phosphate: 0, 20, 40, 60, 80 and 100%. Split-plot consisted of three growth periods: 30, 50 e 70 days after seedlings emergence. The evaluated variables were: shoot, leaf blade, stem, root and litter dry mass; number of leaves and tillers; SPAD value, and cost of phosphate fertilization. The larger shoot dry mass production and lower cost of the phosphate fertilizer corresponded to applying phosphorous fertilizer, after liming, in the proportion 35% rock phosphate and 65% superphosphate.

**Key words:** *Brachiaria brizantha*, grass, rock phosphate, phosphorus, superphosphate

Recibido: 04/09/2014

Aceptado: 02/11/2015

Disponibile on line: 30/01/2016

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

## INTRODUÇÃO

O fósforo é um nutriente limitante no primeiro crescimento de gramíneas forrageiras (Cantarutti et al., 1999), e além disso, apresenta elevada capacidade de fixação no solo, principalmente naqueles em que há predomínio de óxidos, principalmente goethita e gibsitita (Ker, 1997). À medida que a mineralogia dos Latossolos torna-se mais oxidada, aumenta a adsorção de fósforo e as formas ligadas mais fortemente ao alumínio e ferro (Motta et al., 2002), e por esse motivo, recomenda-se doses altas de adubos fosfatados nesses solos (Almeida et al., 2003).

Para minimizar a fixação de fósforo no solo e reduzir o custo da adubação deve-se estudar a possibilidade de substituir fontes solúveis de fósforo por fontes de baixa solubilidade, tais como os fosfatos naturais reativos (Freire et al., 2005). Contudo, estes fertilizantes fosfatados necessitam de acidez para que possam ser solubilizados, e por isso, quando aplicados após a calagem apresentam eficiência menor comparativamente às fontes solúveis (Nascimento et al., 2002; Lima et al., 2007a; Santos et al., 2009). Quando aplicados antes da calagem, observa-se aumento do custo de produção devido o preparo de solo para incorporação dessa fonte, além da possibilidade de fixação desse fósforo (Lima et al., 2007a) devido o longo período no solo antes da semeadura e a instantânea sorção desse nutriente (Santos et al., 2011).

Uma possibilidade para o uso de fosfato natural reativo após a calagem é associá-lo ao sulfato de amônio, tendo em vista que esse fertilizante propicia maior acidificação do solo do que a ureia (Costa et al., 2008a; Sousa e Silva, 2009). Porém, esse fertilizante nitrogenado apresenta maior custo do que a ureia, o que pode limitar a adoção desse manejo da adubação pelos pecuaristas, uma vez que uma das causas da aceleração da degradação de pastagens é a adubação inadequada ou mesmo a ausência desta em função do elevado custo.

Diante da hipótese de restrição na produção quando se utiliza integralmente fosfato natural reativo associado à ureia depois da calagem, é necessário verificar a possibilidade de substituir parcialmente uma fonte solúvel de fósforo pelo fosfato natural reativo, de tal forma que otimize a produção de gramíneas forrageiras. Das gramíneas forrageiras utilizadas no Brasil, o capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) é o mais expressivo pela mediana exigência

em fertilidade e resistência a cigarrinha das pastagens, uma praga de importância econômica. Dessa forma, objetivou-se identificar a proporção de fosfato natural reativo e superfosfato simples em que há maior produção e valor SPAD do capim-marandu cultivado em Latossolo Vermelho argilo arenoso com baixo teor de fósforo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com oito repetições e em esquema de parcelas subdivididas no tempo. Para massa seca de raízes e custo da adubação adotou-se delineamento inteiramente casualizado com oito repetições.

As parcelas consistiram em seis níveis de substituição de superfosfato simples (20% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 17% Ca, 11% S) por fosfato natural reativo (29% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 32% Ca): 0, 20, 40, 60, 80 e 100%. O fosfato natural reativo apresentava 14% de fósforo solúvel em ácido cítrico. As subparcelas consistiram na avaliação de três períodos de crescimento: 30, 50 e 70 dias após a emergência do capim-marandu. Cada unidade experimental foi constituída de um vaso com capacidade de 5,0 dm<sup>3</sup> contendo cinco plantas do capim-marandu.

O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho de classe textural argila arenosa (Tabela 1), coletado na camada de 0 a 0,20 m em Cerrado nativo na região de Rondonópolis, cuja caracterização química e granulométrica foi realizada de acordo com a EMBRAPA (1997). Após a coleta, o solo foi peneirado em malha de 4 mm e transferido para os vasos. Elevou-se a saturação por bases para 40% (Vilela et al., 2004), com a incorporação de calcário dolomítico (PRNT = 80,3%), que reagiu por 30 dias com a umidade do solo mantida a 80% da máxima capacidade de retenção de água no solo. Essa mesma umidade do solo foi mantida até o desbaste das plântulas, sendo em seguida elevada a 100% da máxima capacidade de retenção de água no solo.

A irrigação dos vasos foi realizada por aspersão manual, com a manutenção da umidade por meio do método gravimétrico. A máxima capacidade de retenção de água no solo foi realizada conforme descrito por Bonfim-Silva et al. (2011), com uma modificação no momento da drenagem dos vasos, ao qual os mesmos foram cobertos com plástico filme para evitar perdas por evaporação.

Tabela 1. Caracterização granulométrica e química, com respectiva interpretação, de Latossolo Vermelho argilo arenoso proveniente de Cerrado nativo de Latossolo Vermelho argilo arenoso proveniente de Cerrado nativo. V: saturação de bases, m: saturação de alumínio. A interpretação da análise química foi realizada conforme Cantarutti et al. (1999), sendo: MB – muito baixo; B – baixo; M – médio; A – alto.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H	CTC	V	m	Areia	Silte	Argila
CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%		g kg <sup>-1</sup>			
4,1	1,1	47	0,2	0,1	1,0	4,7	6,1	6,9	70,4	575	50	375
-	MB	M	MB	MB	-	-	M	MB	A	-	-	-

Após o período de incubação do solo com calcário foi feita a adubação de implantação, que consistiu na aplicação de fósforo e micronutrientes. A dose de fósforo ( $P_2O_5$ ) aplicada foi de  $300 \text{ mg dm}^{-3}$  e utilizou-se as proporções dos fertilizantes descritos nos tratamentos. A adubação básica com os micronutrientes foi efetuada com ácido bórico, cloreto de cobre, cloreto de zinco, molibdato de sódio nas doses de 1,5; 2,5; 2,0 e  $0,25 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente (Bonfim-Silva & Monteiro, 2010).

Após a adubação de implantação realizou-se a semeadura do capim-marandu, com 25 sementes por vaso. Houve germinação uniforme em todos os tratamentos, sendo que após a emergência foi feito o desbaste, deixando cinco plantas por vaso. O critério para o desbaste baseou-se no vigor e uniformidade das plântulas. Após o desbaste foi realizada a adubação nitrogenada e potássica ( $K_2O$ ), nas doses de 200 e  $100 \text{ mg dm}^{-3}$ , na forma de ureia (46%N) e cloreto de potássio (58%  $K_2O$ ), respectivamente. No primeiro crescimento do capim-marandu a adubação com nitrogênio e potássio foi parcelada em quatro aplicações iguais para evitar uma pressão osmótica elevada, referenciada por Batista & Monteiro (2008).

Trenta dias após a emergência foi medido o valor SPAD (Soil Plant Analysis Development), realizada a contagem do número de folhas e perfilhos e o corte da parte aérea, que foi feito a 10 cm do solo. A leitura SPAD foi realizada com clorofilômetro portátil em cinco folhas diagnósticas por parcela experimental. As folhas diagnósticas correspondem as duas folhas mais novas e completamente expandidas. Foram contadas todas as folhas que estavam acima da altura de corte e todos os perfilhos presentes nos vasos. Após o corte, a parte aérea foi separada em lâminas foliares e colmo+bainha, sendo essas frações acondicionadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa de circulação de ar a  $55^\circ\text{C}$  por 72 horas (Silva & Queiroz, 2002), e posteriormente pesadas. Todo o procedimento de leitura SPAD, contagem de folhas, perfilhos, corte e fracionamento da parte aérea das plantas, foi repetido na avaliação do segundo e terceiro crescimento, que ocorreu 20 dias após o corte anterior. Após cada corte foi reaplicada a adubação com nitrogênio e potássio, em doses de 200 e  $100 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente, com as mesmas fontes já mencionadas.

No terceiro corte do capim-marandu, além dos mesmos procedimentos dos cortes anteriores, foi coletada a massa de raízes. As raízes foram peneiradas em malha de 4 mm e lavadas. Todo o material coletado foi submetido à secagem em estufa com ventilação forçada a  $65^\circ\text{C}$  por 72 horas e, posteriormente, pesadas.

Para avaliar o custo da adubação fosfatada utilizou-se o preço médio do fosfato natural reativo e superfosfato simples na região de Rondonópolis, no mês de outubro de 2013, que custavam R\$840,00 e R\$ 862,00 a tonelada, respectivamente. Calculou-se o preço da adubação fosfatada para cada tratamento e dividiu-se pela somatória da massa seca da parte aérea nos três crescimentos com o intuito de quantificar o preço da adubação para cada quilo de massa seca produzida.

As variáveis avaliadas foram: massa seca da parte aérea, lâminas foliares, colmo+bainha e raízes; número de folhas, perfilhos, valor SPAD e custo da adubação

fosfatada. Os resultados foram submetidos ao teste de Lilliefors (normalidade de resíduos) e Cochran (homogeneidade de variâncias). Diante da normalidade de resíduo e homogeneidade dos dados, procedeu-se à análise de regressão. A seleção dos modelos lineares ou quadráticos deu-se por meio do teste F e a significância dos componentes do modelo de regressão por meio do teste t, ambos a 5% de probabilidade de erro. Para comparação entre os períodos de crescimento utilizou-se o teste de Tukey com a mesma probabilidade de erro dos testes anteriores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito isolado ( $p < 0,05$ ) dos períodos de crescimento e dos níveis de substituição de fosfato natural reativo quanto à massa seca de lâminas foliares, colmo+bainha, parte aérea e número de folhas do capim-marandu. Para o valor SPAD e número de perfilhos houve interação ( $p < 0,05$ ) entre os níveis de substituição de superfosfato simples por fosfato natural reativo e os períodos de crescimento. Observou-se efeito ( $p < 0,05$ ) dos níveis de substituição de fosfato natural reativo no custo da adubação fosfatada do capim-marandu e não ajustou-se modelos de regressão para a massa seca de raízes.

Independente do período de crescimento, as produções de massa seca foram descritas por modelos quadráticos dos níveis de substituição de superfosfato simples por fosfato natural reativo. A máxima produção de massa seca de lâminas foliares, colmo+bainha e parte aérea do capim-marandu ocorreram quando 30, 41 e 34% da dose de fósforo foi suprida com fosfato natural reativo, respectivamente (Figura 1). Fica evidente a restrição da adubação unicamente com fosfato natural reativo no cultivo do capim-marandu, tendo em vista que o fósforo presente nessa fonte não está em uma forma prontamente assimilável pelas plantas. O fósforo é o nutriente mais requerido no estabelecimento de gramíneas forrageiras (Cantarutti et al., 1999), principalmente para o desenvolvimento do sistema radicular (Rezende et al., 2011), e dessa forma, torna-se necessário o suprimento parcial de uma fonte de fósforo prontamente disponível para as plantas.

Quando o capim-marandu foi adubado totalmente com superfosfato simples (0% de fosfato natural), esse fósforo adicionado, embora disponível para absorção assim que aplicado e aumente em curto prazo os teores de fósforo disponível (Luchini et al., 2012), está predisposto à fixação e envelhecimento no solo. Quando se aplica uma fonte de fósforo solúvel em Latossolo, há uma redução na disponibilidade desse nutriente ao longo do tempo (Machado et al., 2011). Santos et al. (2011) inferiram que 24 horas após a aplicação de uma solução com baixa ( $6 \text{ g L}^{-1}$ ) e elevada concentração de fósforo solúvel ( $60 \text{ g L}^{-1}$ ), 97 e 70% do fósforo havia adsorvido ao Latossolo Amarelo, respectivamente.

Por outro lado, quando o capim-marandu foi cultivado com maiores proporções de fosfato natural reativo (maior do que 35%) ocorreu redução na massa seca da parte aérea, pois à medida que se aumenta a quantidade de fosfato natural reativo, fornece-se o fósforo em uma forma não prontamente disponível para

a absorção das plantas, o que limita o desenvolvimento das plantas cultivadas em solo com baixo teor de fósforo. Dessa forma, para otimizar a adubação fosfatada, deve-se suprir parte do fósforo em forma solúvel e prontamente disponível para o uso imediato pela planta e outra fração do fósforo deve permanecer no solo para ser solubilizado posteriormente, o que minimizará a fixação no solo e propiciará efeito residual desse nutriente no solo (Ramos et al., 2010).

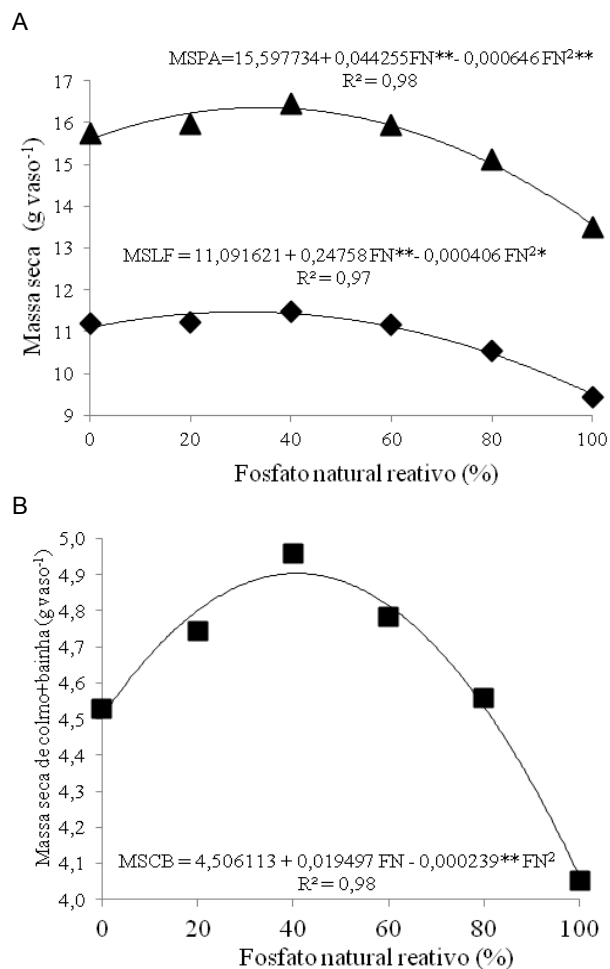


Figura 1. Estimativa da (A) massa seca de lâminas foliares, parte aérea e (B) colmo+bainha do capim-marandu submetido a níveis de substituição de superfosfato simples por fosfato natural reativo, independente do período de crescimento. \*\*, \*: significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste de t.

Comumente, comparando-se fontes solúveis e insolúveis de fósforo, observam-se maiores produções quando se utiliza fontes solúveis, como os superfosfatos (Lima et al., 2007a; Franzini et al., 2009; Ieri et al., 2010), contudo poucos trabalhos referem-se a mistura desses fertilizantes. Maciel et al. (2007) e Costa et al. (2008b) observaram resultados promissores adubando-se o capim-marandu com mistura de fontes

solúveis e insolúveis de fósforo, o que corrobora com o presente estudo.

O fosfato natural reativo, além de fornecer fósforo, adiciona cálcio em maior proporção que o superfosfato simples, sendo este também um nutriente essencial no estabelecimento de gramíneas forrageiras. Em baixa concentração de cálcio, mesmo em elevadas concentrações de nitrogênio, há restrição na produção de raízes do capim-tanzânia (Silveira & Monteiro, 2010), além disso, verifica-se redução na produção na parte aérea do capim-marandu em até 70% em ausência de cálcio (Oliveira et al., 2009).

Independente do período de crescimento, o número de folhas do capim-marandu foi descrito por modelo quadrático dos níveis de substituição de superfosfato simples por fosfato natural reativo (Figura 2). O maior número de folhas do capim-marandu ocorreu com a aplicação de 10% de fosfato natural reativo. Embora, após esse nível tenha ocorrido decréscimo no número de folhas, até 30% de fosfato natural reativo houve incremento na massa seca de lâminas foliares (Figura 1B), o que demonstra que nesse intervalo houve menor emissão de folhas, contudo observou-se nas folhas emitidas maior massa. Bonfim-Silva et al. (2012) observaram resposta linear positiva no número de folhas do capim-marandu com o aumento na dose de fosfato natural reativo, pois houve incremento no fósforo fornecido. No presente estudo, a dose de fósforo foi mantida constante em todos os tratamentos (300 mg dm<sup>-3</sup>) e substituída gradativamente uma fonte solúvel de fósforo por uma fonte de baixa solubilidade.

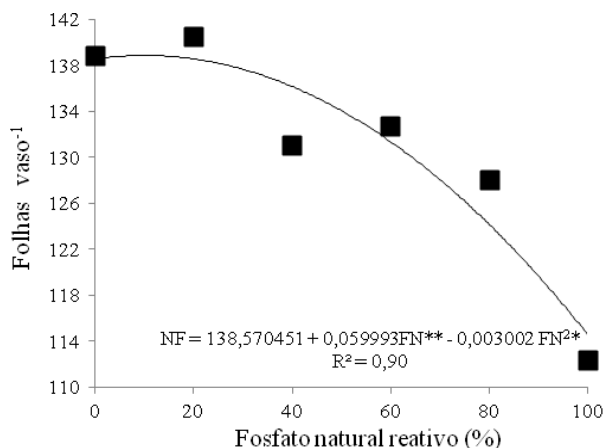


Figura 2. Estimativa do número de folhas do capim-marandu submetido a níveis de substituição de fonte solúvel de fósforo por fosfato natural reativo. \*\*, \* significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste de t.

No segundo e terceiro crescimento, independente dos níveis de fosfato natural reativo, houve menor número de folhas, massa seca de lâminas foliares, colmo+bainha e parte aérea no primeiro crescimento do capim-marandu (Tabela 2). Esse mesmo comportamento foi verificado em diversos trabalhos científicos (Abreu & Monteiro, 1999; Bonfim-Silva et al.,

2013). O primeiro crescimento de gramíneas forrageiras é mais lento, comparativamente à rebrota, porque nesse momento os fotoassimilados são utilizados para o estabelecimento do sistema radicular e parte aérea. Além disso, em rebrota observa-se estímulo ao perfilhamento pela quebra da dominância apical, o que acelera o crescimento de gramíneas forrageiras.

No primeiro e segundo crescimento, o número de perfilhos não se ajustou a nenhum modelo de regressão, observando-se no capim-marandu, em média, 21 e 37 perfilhos por vaso, respectivamente. Embora não se tenha observado diferença no número de perfilhos, houve resposta na produção (Figura 1), o que demonstra que houve diferença entre o peso dos perfilhos. O fósforo influencia o peso do perfilho de gramíneas forrageiras, de tal forma que em escassez de fósforo verifica-se menor produção e número de perfilhos, contudo perfilhos mais pesados (Oliveira et al., 2012). Por outro lado, existem casos em que em ausência de adubação a forrageira produz maior número de perfilhos, contudo, perfilhos mais leves do que em solos adubados com fósforo (Cecato et al., 2008). Essa diversidade de respostas ocorre em função da plasticidade fenotípica de gramíneas forrageiras.

No terceiro crescimento, o número de perfilhos do capim-marandu decresceu à medida que se aumentou a proporção de fosfato natural reativo (Figura 3).

Comparando-se o capim-marandu adubado com fosfato

natural reativo e com superfosfato simples, houve uma redução linear em 27% no número de perfilhos, em função do fosfato natural reativo ser um fertilizante cuja liberação do fósforo ocorre de maneira gradual.

No primeiro e segundo crescimento houve redução no valor SPAD à medida que houve aumento na participação do fosfato natural reativo na adubação do capim-marandu (Figura 4). O fosfato natural reativo pode ter influenciado o valor SPAD por dois motivos.

Primeiro, como o SPAD apresenta correlação com o teor de nitrogênio das plantas (Lima et al., 2007b; Cabral et al., 2013), o aumento no suprimento de fósforo de baixa solubilidade pode ter limitado a assimilação de nitrogênio pelas plantas. O nitrato absorvido pelas raízes deve ser reduzido a amônio para que o nitrogênio seja incorporado as cadeias de aminoácidos, e essa assimilação se dá com gasto energético (Bloom et al., 1992), ou seja, com uso de adenosina trifosfato (ATP), que possui fósforo em sua estrutura. Segundo, como o fosfato natural reativo apresenta maior concentração de cálcio do que o superfosfato simples, esse nutriente pode ter limitado a absorção de magnésio, já que ambos nutrientes competem pelo mesmo sítio de absorção e o magnésio é componente central da clorofila. No terceiro crescimento, o valor SPAD não se ajustou a nenhum modelo de regressão, observando um valor médio de 50.

Tabela 2. Massa seca de lâminas foliares, colmo+bainha, parte aérea e número de folhas do capim-marandu em cada período de crescimento, independente da adubação fosfatada. Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. CV(%): coeficiente de variação.

Variáveis avaliadas	1º crescimento	2º crescimento	3º crescimento	CV(%)
Massa seca de lâminas foliares (g vaso <sup>-1</sup> )	8,36 C	9,50 B	14,59 A	11,86
Massa seca de colmo+bainha (g vaso <sup>-1</sup> )	3,07 C	4,41 B	6,29 A	15,24
Massa seca de parte aérea (g vaso <sup>-1</sup> )	11,43 C	13,91 B	20,88 A	22,53
Folhas vaso <sup>-1</sup>	93,46 C	107,56 B	190,26 A	16,47

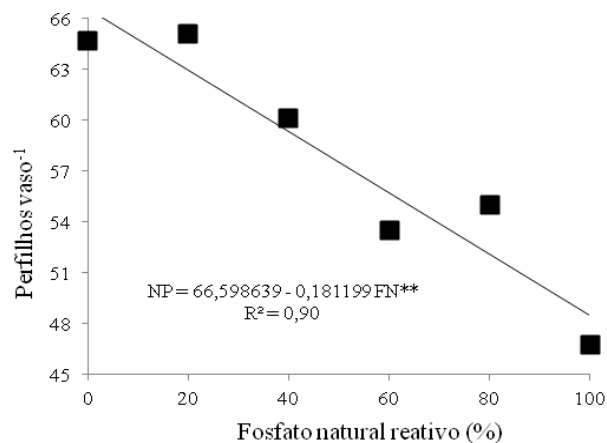


Figura 3. Estimativa do número de perfilhos do capim-marandu, no terceiro crescimento, submetido a níveis de substituição de fonte solúvel de fósforo por fosfato natural reativo. \*\* significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste de t.

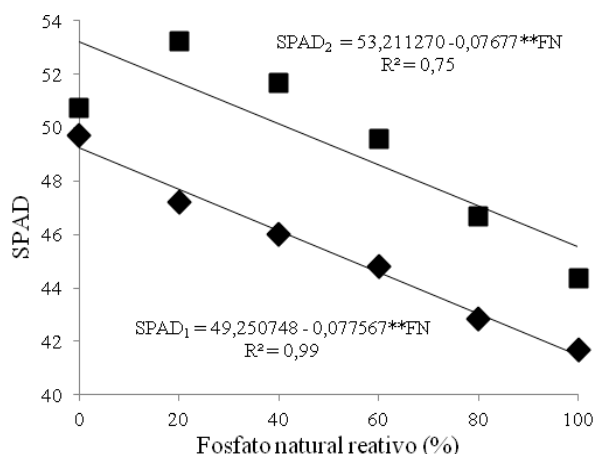


Figura 4. Estimativa do valor SPAD do capim marandu, no primeiro (1) e segundo crescimento (2), submetido a níveis de substituição de fonte solúvel de fósforo por fosfato natural reativo. \*\* significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste t.

Em todos os níveis de substituição de superfosfato simples por fosfato natural reativo observou-se menor número de perfilhos no primeiro crescimento do capim-marandu (Tabela 3). Após o primeiro corte, pela perda da dominância apical ocorre estímulo ao perfilhamento (Santos et al., 2010), o que justifica maior número de perfilhos em rebrota. O perfilhamento é um fenômeno relevante em gramíneas forrageiras, pois é a constante emissão de folhas e perfilhos que são responsáveis pela perenidade do pasto.

Não se observou ajuste para massa seca de raízes do capim-marandu a nenhum modelo de regressão, com média de 11,28 g vaso<sup>-1</sup> (CV = 35,7%). A massa seca de raízes está associada ao potencial de rebrota das gramíneas forrageiras, já que as raízes e a base do colmo acumulam reservas orgânicas e tornam-se fonte na relação fonte-dreno quando há limitação da área foliar residual (Cecato et al., 2001).

O custo da adubação fosfatada foi descrito por modelo quadrático de regressão. O menor custo da adubação fosfatada do capim-marandu ocorreu quando se aplicou 35% do fósforo na forma de fosfato natural reativo e 65% na forma do superfosfato simples (Figura 5). Esse

nível de substituição está bem próximo daquele que se observou máxima massa seca de parte aérea (34%), o que demonstra que é possível substituir parcialmente a adubação fosfatada solúvel por uma fonte de baixa solubilidade de menor custo, mesmo após a calagem. Após o nível de 35% de substituição, embora aumente a proporção de fosfato natural reativo, que é uma fonte de menor custo, ocorre uma redução na massa seca da parte aérea do capim-marandu (Figura 1A), o que aumenta o custo de cada quilo de massa seca produzida.

Houve uma redução de 5% no custo da adubação fosfatada por quilo de massa seca produzida, comparando-se o uso total de superfosfato simples e a substituição de 35% de superfosfato simples por fosfato natural reativo (Figura 5). A mistura dos dois fertilizantes necessitará de dispêndio de mão de obra e tempo antes da aplicação, o que pode inviabilizar a aplicação conjunta desses dois fertilizantes. Por outro lado, a aplicação do fosfato natural reativo aumenta o efeito residual do fósforo do solo (Ramos et al., 2010), o que pode minimizar o custo da adubação fosfatada de manutenção.

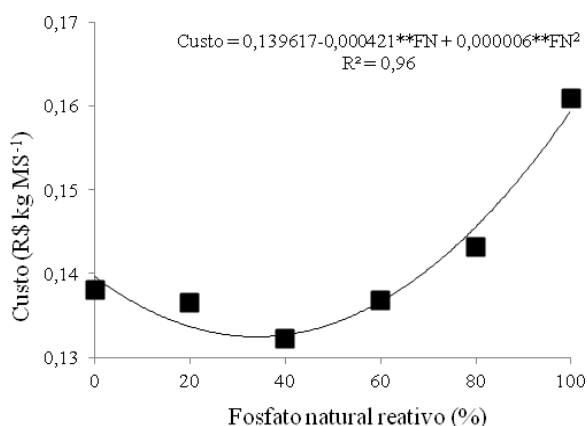


Figura 5. Relação entre o custo da adubação fosfatada e a produção de massa seca da parte aérea do capim-marandu submetido a níveis de substituição de superfosfato simples por fosfato natural reativo. \*\* significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste de t.

Tabela 3. Número de perfilhos e valor SPAD do capim-marandu submetido a níveis de substituição de superfosfato simples por fosfato natural reativo em três períodos de crescimento. Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Variáveis avaliadas	Nível de fósforo na forma de fosfato natural reativo					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
	Perfilhos vaso <sup>-1</sup>					
1º crescimento	21 C	23 C	23 C	21 C	20 C	20 C
2º crescimento	37 B	40 B	37 B	37 B	35 B	35 B
3º crescimento	65 A	65 A	60 A	54 A	55 A	47 A
CV (%) = 13,29						
	SPAD					
1º crescimento	49,68 A	47,20 B	46,03 B	44,80 A	42,82 A	41,70 B
2º crescimento	50,73 A	53,25 A	51,66 A	49,58 A	46,68 A	44,34 B
3º crescimento	51,10 A	55,04 A	51,03 A	47,02 A	42,86 A	51,34 A
CV (%) = 9,05						

## CONCLUSÃO

Em casa de vegetação, a máxima produção de massa seca da parte aérea e o menor custo da adubação fosfatada do capim-marandu ocorrem quando se aplica, após a calagem, 35% do fósforo na forma de fosfato natural reativo e 65% na forma de superfosfato simples.

## REFERÊNCIAS

**Abreu, J.B.R. & F.A. Monteiro.** 1999. Produção e nutrição do capim-marandu em função de adubação nitrogenada e estádios de crescimento. Boletim de Indústria Animal 56: 137-146.

**Almeida, J.A., J. Torrent & V. Barrón.** 2003. Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. Revista Brasileira Ciência do Solo 27: 985.

**Batista, K. & F.A. Monteiro.** 2008. Nitrogênio e enxofre nas características morfogênicas do capim-marandu em substituição ao capim-braquiária em degradação em solo com baixo teor de matéria orgânica. Revista Brasileira de Zootecnia 37: 1151-1160.

**Bloom, A.J., S.S. Sukrapanna & R.L. Warner.** 1992. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. Plant Physiology 99:1294-1301.

**Bonfim-Silva, E.M. & F.A. Monteiro.** 2010. Nitrogênio e enxofre na adubação e em folhas diagnósticas e raízes do capim-braquiária em degradação. Revista Brasileira de Zootecnia 39: 1641-1649.

**Bonfim-Silva, E. M., T.J.A. Silva, C.E.A. Cabral, B.E. Kroth & D. Rezende.** 2011. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. Revista Caatinga 24: 180-186.

**Bonfim-Silva, E.M., C.C. Santos, L.N. Farias, M.K.C. Vilarinho, S.L. Guimarães & T.J.A. Silva.** 2012. Características morfológicas e produtivas do capim-marandu adubado com fosfato natural reativo em solo de cerrado. Revista Agroambiente, 6: 166-171.

**Bonfim-Silva, E.M., C.E.A. Cabral, T.J.A. Silva, J.C.F. Moreira & J.C.S. Carvalho.** 2013. Cinza vegetal: características produtivas e teor de clorofila do capim-marandu. Bioscience Journal 29: 1214-1224.

**Cabral, C.E.A., J.G. Abreu, E.M. Bonfim-Silva, C.H.A. Cabral, J.F. Scaramuzza & T.J.A. Silva.** 2013. Eficiência de produção e concentração de nitrogênio nos capins marandu, decumbens e convert submetidos à adubação nitrogenada. Bioscience Journal 29:1653-1663.

**Cantarutti, R.B., H.E.P. Martinez, M.M. Carvalho, D.M. Fonseca, A.L. Arruda, H. Vilela & F.T.T. Oliveira.** 1999. Pastagens. En: Ribeiro, A.C., P.T.G. Guimarães & V.H. Alvarez V (Eds). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Ed. CFSEMG. Viçosa pp:43-60.

**Cecato, U., C.C.P. Cano, M. Bortolo, V.R. Herling, M.W. Canto & C.R.C. Castro.** 2001. Teores de carboidratos não-estruturais, nitrogênio total e peso de raízes em Coastcross-L (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) pastejado por ovinos. Revista Brasileira de Zootecnia 30: 644-650.

**Cecato, U., V.D. Skrobot, G.B. Fakir, A.F. Branco, S. Galbeiro & J.A.N. Gomes.** 2008. Perfilhamento e características estruturais do capim-mombaça, adubado com fontes de fósforo, em pastejo. Acta Scientiarum. Animal Science 30: 1-7.

**Costa, K.A.P., V. Faquin, I. P. Oliveira, C. Rodrigues, E.C. Severiano.** 2008a. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I - Alterações nas características químicas do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 32: 1591-1599.

**Costa, S.E.V.G.A., A.E. Furtini Neto, A.V. Resende, T.O. Silva & T.R. Silva.** 2008b. Crescimento e nutrição da braquiária em função de fontes de fósforo. Ciência e Agroecologia 32: 1419-1427.

**EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** 1997. Manual de métodos de análises de solo. Centro Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Embrapa Solos. Rio de Janeiro. 212pp.

**Franzini, V.I., T. Muraoka, H.M. Coraspe-Leon & F.L. Mendes.** 2009. Eficiência de fosfato natural reativo aplicado em misturas com superfosfato triplo em milho e soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira 44: 1092-1099.

**Freire, F.M., D.M. Fonseca & R.B. Cantarutti.** 2005. Manejo da fertilidade do solo em pastagens. Informe Agropecuário 26: 44-53.

**Ieri, A.Y., R.M.Q. Lana, G.H. Korndörfer & H.S. Pereira.** 2010. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na recuperação de pastagem com Brachiaria. Ciência e Agroecologia 34: 1154-1160.

**Ker, J.C.** 1997. Latossolo do Brasil: uma revisão. Genomos 5: 17-40.

**Lima, S.O., R.R. Fidelis & S.J. Costa.** 2007a. Avaliação de fontes e doses de fósforo no estabelecimento de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu no sul do Tocantins. Pesquisa Agropecuária Tropical 37: 100-105.

**Lima, E.V., T.R.B. Silva, R.P. Soratto & A.C. Crusciol.** 2007b. Relação da leitura do clorofímetro com o N total na folha de painço (*Panicum miliaceum* L.) em função da adubação nitrogenada de cobertura. Revista Brasileira de Milho e Sorgo 6: 149-158.

**Luchini, I., C.S. Tiritan, J.S.S. Foloni & D.H. Santos.** 2012. Fósforo disponível em solos ácidos e corrigidos com aplicação de fosfatos solúvel, reativo e natural. Scientia Agraria Paranaensis 11:82-94.

**Maciel, G.A., S.E.G.V.A. Costa, A.E. Furtini Neto, M.M. Ferreira & A.R. Evangelista.** 2007. Efeito de diferentes fontes de fósforo na *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada em dois tipos de solos. Ciência Animal Brasileira 8: 227-233.

**Machado, V.J., C.H.E. Souza, B.B. Andrade, R.M.Q. Lana & G.H. Korndorfer.** 2011. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. Bioscience Journal, 27: 70-76.

**Motta, P.E.F., N. Curi, J.O. Siqueira, B. Van Raij, A.E. Furtini Neto & J.M. Lima.** 2002. Adsorção e formas de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. Revista Brasileira de Ciência do Solo 26: 349-359.

**Nascimento, J. L.; R.A. Almeida, R.S.M. Silva & L.A.F. Magalhães.** 2002. Níveis de calagem e fontes de fósforo na produção do capim Tanzânia (*Panicum*

*maximum* Jacq. cv. Tanzânia). Pesquisa Agropecuária Tropical 32: 7-11.

**Oliveira, O.P., K.A.P. Costa, V. Faquin, G.A. Maciel, B.P. Neves, E.L. Machado.** 2009. Efeitos de fontes de cálcio no desenvolvimento de gramíneas solteiras e consorciadas. Ciência e Agrotecnologia 33: 592-598.

**Oliveira, P.S.R., B.B. Deminicis, D.D. Castagnara & F.C.N. Gomes.** 2012. Efeito da adubação com fósforo do capim Mombaça em solos com texturas arenosa e argilosa. Archivos de Zootecnia 61: 397-406.

**Ramos, S.J., V. Faquin, C.R. Rodrigues & C.A. Silva.** 2010. Efeito residual das aplicações de fontes de fósforo em gramíneas forrageiras sobre o cultivo sucessivo da soja em vasos. Bragantia 69:149-155.

**Rezende, A.V., J.F. Lima, C.H.S. Rabelo, F.H.S. Rabelo, D.A. Nogueira, M. Carvalho, D.C.N.A. Faria Junior & L.A. Barbosa.** 2011. Características morfofisiológicas da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em resposta à adubação fosfatada. Revista Agrarian 4: 335-343.

**Santos, V.R., G. Moura-Filho, A.W. Albuquerque, J.P.V. Costa, C.G. Santos & A.C.I. Santos.** 2009. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 13: 389-

396.

**Santos, H.C., F.H.T. Oliveira, I.H. Salcedo, A.P. Souza & V.D.M. Silva.** 2011. Kinetics of phosphorus sorption in soils in the state of Paraíba. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 35: 1301-1310.

**Santos, M.E.R., D.M. Fonseca, V.M. Gomes, S.P. Silva & R.M. Pimentel.** 2010. Morfologia de perfilhos basais e aéreos em pasto de *Brachiaria decumbens* manejado em lotação contínua. Enciclopédia Biosfera 6: 1-9.

**Silva, D.J. & A.C. Queiroz.** 2002. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3. ed. UFV. Viçosa. 235pp.

**Silveira, C.P. & F.A. Monteiro.** 2010. Macronutrientes em folhas diagnósticas do capim-tanzânia adubado com nitrogênio e cálcio. Revista Brasileira de Zootecnia 39: 736-745.

**Sousa, R.A. & T.R.B. Silva.** 2009. Acidificação de um Latossolo Vermelho Distroférrico em função da aplicação de nitrogênio oriundo de ureia, sulfato de amônio e sulfammo. Cultivando o Saber 2:78-83.

**Vilela, L., W.V. Soares & D.M.G.** 2004. Sousa. Calagem e adubação para pastagens. En: Sousa, D.M.G. & E. Lobato. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Embrapa. Brasília pp. 367-382.