

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA, MEDICINA VETERINÁRIA E
ZOOTECNIA**

Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical

**FOSFATO NATURAL REATIVO E FERTILIZANTES NITROGENADOS
NO CULTIVO DO CAPIM-MARANDU**

CARLOS EDUARDO AVELINO CABRAL

CUIABÁ - MT

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA, MEDICINA VETERINÁRIA E
ZOOTECNIA

Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical

FOSFATO NATURAL REATIVO E FERTILIZANTES NITROGENADOS
NO CULTIVO DO CAPIM-MARANDU

CARLOS EDUARDO AVELINO CABRAL

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Luciano da Silva Cabral

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Edna Maria Bonfim da Silva

Tese apresentada à Faculdade de Agronomia,
Medicina Veterinária e Zootecnia da
Universidade Federal de Mato Grosso, para
obtenção do título de Doutor em Agricultura
Tropical.

CUIABÁ - MT

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

C117f Cabral, Carlos Eduardo Avelino.
Fosfato natural reativo e fertilizantes nitrogenados no cultivo do capim-marandu /
Carlos Eduardo Avelino Cabral. -- 2014
74 f. ; 30 cm.

Orientador: Luciano da Silva Cabral.
Co-orientadora: Edna Maria Bonfim da Silva.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de
Agronomia e Medicina Veterinária, Programa de Pós-Graduação em Agricultura
Tropical, Cuiabá, 2014.
Inclui bibliografia.

1. Adubos e adubação. 2. Adubação fosfatada. 3. Brachiaria brizantha. 4. Sulfato
de amônio. 5. Ureia. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA, MEDICINA VETERINÁRIA E
ZOOTECNIA
Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Fosfato natural reativo e fertilizantes nitrogenados no cultivo do capim-marandu

Autor: Carlos Eduardo Avelino Cabral

Orientador: Prof. Dr. Luciano da Silva Cabral

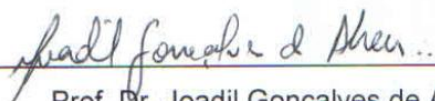
Aprovada em 07 de março de 2014



Prof. Dr. Luciano da Silva Cabral
(FAMEVZ/UFMT/Cuiabá)
(Orientador)



Profª. Drª. Edna Maria Bonfim-Silva
(ICAT/UFMT/CUR)
(Coorientadora)



Prof. Dr. Joadil Gonçalves de Abreu
(FAMEVZ/UFMT/Cuiabá)
(Examinador interno)



Profª. Drª. Maristela de Oliveira Bauer
(CCA/UFES)
(Examinador externo)



Profª. Drª. Quezia Pereira Borges da Costa
(IFMT/Campo Novo dos Parecis)
(Examinador externo)

AGRADECIMENTO

Quero agradecer a Deus...

Pela fé em Jesus que me sustenta em todo tempo. Pela possibilidade de concluir essa etapa mesmo em meio às dificuldades e cansaço. Agradeço a Ele pelo título a ser obtido e, ao mesmo tempo, peço que este me possibilita ensinar com afinco, formando profissionais mais éticos e com responsabilidade social.

Pelo apoio dos meus pais, Luiz e Célia, que investiram seu tempo e dinheiro para me educar, e que em todo o tempo foram suporte na minha caminhada, contribuindo para formação dos meus valores. Que Deus me permita retribuir esse esforço!

Pela presença da minha irmã, Carla, que sempre foi referência de estudante e profissional, contribuindo para formação dessa tese, mas muito mais, contribuiu para minha formação pessoal.

Pela orientação do Prof. Dr. Luciano da Silva Cabral, pela confiança e autonomia, sem as quais eu não poderia ter finalizado essa etapa. Obrigado por ser referência de simplicidade e conhecimento.

Pela orientação da Prof^a. Dr^a. Edna Maria Bonfim da Silva, que em todos os momentos dispôs tempo, com a qual aprendi além de ciência do solo, aprendi relações humanas, que me prepararam para minha vida profissional. Sou grato pela confiança e companheirismo.

Pelo irmão que fiz durante a pós-graduação, Kassio Carvalho, sem o qual esse trabalho não seria possível. Obrigado por todo o auxílio prestado, com o qual percebi que ainda existe homem que traz a fagulha divina de compaixão e misericórdia.

Aos companheiros Bruna Kroth, Carol, Maria Débora, Jeremias, Toninho, Gabriela, Fernanda, José Ricardo, Tiago, Geovana, Rhonderson, Bruna Padilha, Lucas, Alyna e Thales (desculpem se esqueci de alguém), que participaram da coleta de dados, contribuindo para que esses momentos se tornassem menos exaustivos e mais divertidos.

Pela banca avaliadora, composta pelo Prof. Dr. Joadil Gonçalves de Abreu, Prof^a. Dr^a. Maristela de Oliveira Bauer e Prof^a. Dr^a. Quezia Pereira Borges da Costa, que dispuseram tempo para sugerir e corrigir este trabalho, tornando-o mais apto e qualificado a compor o conhecimento científico.

À Patrícia Senna pelas crases, preposições, concordâncias e regências em toda a tese.

À Universidade Federal do Mato Grosso, *Campus Sinop*, em nome do Prof. Dr. Frederico Terra de Almeida, pelo apoio em conciliar a atividade profissional com a finalização dessa etapa.

À empresa Heringer Fertilizantes pela concessão dos fertilizantes utilizados na pesquisa.

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu”.

Eclesiastes 3.1

“Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já tem a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos, que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da travessia: e, se não ousarmos fazê-la, teremos ficado, para sempre, à margem de nós mesmos.”

Fernando Pessoa

FOSFATO NATURAL REATIVO E FERTILIZANTES NITROGENADOS NO CULTIVO DO CAPIM-MARANDU

RESUMO – O fosfato natural reativo é um fertilizante que pode melhorar a produção de gramíneas forrageiras, por minimizar fixação de fósforo e reduzir o custo de produção. Em solos altamente intemperizados, como os Latossolos, a problemática é acentuada, pois ocorre elevada capacidade de fixação de fósforo nos óxidos, além da precipitação desse nutriente com alumínio e ferro do solo. Contudo, deve-se estudar a possibilidade de sua aplicação junto ou após a calagem, uma vez que a aplicação desse nutriente antes da calagem pode reduzir a eficiência da adubação fosfatada e aumentar o custo com mecanização. Uma alternativa para o uso do fosfato natural reativo após a calagem é utilizar a acidificação proveniente da adubação nitrogenada, uma vez que a nitrificação contribui naturalmente para redução do pH solo. Dessa forma, objetivou-se avaliar o fosfato natural reativo associado a fertilizantes nitrogenados no cultivo do capim-marandu em Latossolo Vermelho com baixo teor de fósforo. Realizaram-se três experimentos, todos em casa de vegetação da Universidade Federal do Mato Grosso, *Campus Rondonópolis*. O fosfato natural reativo utilizado é proveniente de Bayóvar (Peru) e possui 29% de fósforo (P_2O_5) em sua composição, sendo 14% de solubilidade em ácido cítrico. Identificou-se que o sulfato de amônio permite o uso de fosfato natural reativo na adubação do capim-marandu mesmo após a calagem, enquanto a ureia não proporciona acidez suficiente para o uso deste fertilizante. Por esse motivo, para o uso de fosfato natural reativo associado à ureia é necessário aplicar 35% do fósforo na forma deste fertilizante e 65% na forma de superfosfato simples. Com intuito de reduzir o custo da adubação nitrogenada e evitar um queda brusca no pH do solo, estudou-se uma proporção ótima entre ureia e sulfato de amônio associada ao fosfato natural reativo. A máxima produção do capim-marandu adubado com fosfato natural reativo ocorre quando o nitrogênio é suprido 100% com sulfato de amônio, sendo este o nível de menor custo por quilo de massa seca produzida.

Palavras-chave: adubação fosfatada, *Brachiaria brizantha*, Latossolo, sulfato de amônio, ureia.

ROCK PHOSPHATE AND NITROGEN FERTILIZATION IN GROWTH PALISADEGRASS

ABSTRACT- Rock phosphate is fertilizer which can improve production forage grasses, by minimizing phosphorus fixation and reduce production cost. In highly weathered soils, such as Oxisols, the problem is severe, because occurs high phosphorus fixation in oxides, in addition this nutrient be precipitate with aluminum and iron. However, should study the possibility of its use in time or after liming, once application of this nutrient before liming can reduce the efficiency of phosphorus and increases mechanization cost. An alternative to the use rock phosphate after liming is used from acidification provided for nitrogen, as the nitrification naturally contributes to reduce soil pH. Thus, this study aimed to evaluate use of rock phosphate associated with nitrogen fertilizers in growth palisadegrass in Oxisol with low phosphorus. Were conducted three experiments, all in greenhouse at Universidade Federal do Mato Grosso, *Campus Rondonópolis*. Rock phosphate from Bayóvar have 29% of phosphorus in its composition, with 14% solubility in citric acid. Ammonium sulfate allows the use of phosphate rock in palisadegrass fertilization even after liming, while urea does not provide enough soil acidity to the use of this fertilizer. Therefore, for the use of rock phosphate associated with urea is necessary to apply 35% of this phosphate and 65% in the form of superphosphate. In order to reduce the cost of nitrogen fertilization and prevent a large drop in soil pH, was studied whether there is optimum ratio between urea and ammonium sulfate associated with rock phosphate. Maximum production palisadegrass fertilized with rock phosphate occurs when nitrogen is supplied 100% of ammonium sulfate, which is the lowest cost per kilogram of dry matter produced.

Keywords: phosphorus fertilization, *Brachiaria brizantha*, Oxisol, ammonium sulfate, urea.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO GERAL	09
1.1 Referências Bibliográficas	12
2 FOSFATO NATURAL REATIVO E FERTILIZANTES NITROGENADOS NA ADUBAÇÃO DO CAPIM-MARANDU	15
Resumo.....	15
Abstract.....	16
2.1 Introdução.....	17
2.2 Material e Métodos.....	19
2.3 Resultados e Discussão.....	23
2.4 Conclusões.....	29
2.5 Referências Bibliográficas.....	30
3 SUBSTITUIÇÃO DE SUPERFOSFATO SIMPLES POR FOSFATO NATURAL REATIVO NO CULTIVO DO CAPIM-MARANDU	34
Resumo.....	34
Abstract.....	35
3.1 Introdução.....	36
3.2 Material e Métodos.....	38
3.3 Resultados e Discussão.....	41
3.4 Conclusões.....	50
3.5 Referências Bibliográficas.....	51
4 FERTILIZANTES NITROGENADOS ASSOCIADOS AO FOSFATO NATURAL REATIVO NO CULTIVO DO CAPIM-MARANDU	55
Resumo.....	55
Abstract.....	56
3.1 Introdução.....	57
3.2 Material e Métodos.....	59
3.3 Resultados e Discussão.....	62
3.4 Conclusões.....	70
3.5 Referências Bibliográficas.....	71

1 INTRODUÇÃO GERAL

Na adubação de forrageiras, o fósforo é o nutriente mais exigido na implantação de gramíneas forrageiras (Cantarutti et al., 1999; Vilela et al., 2004). A problemática da adubação fosfatada no Brasil e demais condições tropicais está na facilidade de imobilização desse nutriente em decorrência das fortes interações que apresenta com os constituintes do solo. O Latossolo, classe de solo que predomina no Brasil, inclusive no Cerrado, é um solo altamente intemperizado que possui como características principais o perfil homogêneo, baixa capacidade de troca catiônica, predomínio de óxidos de ferro e alumínio em sua mineralogia e alto teor de alumínio trocável (EMBRAPA, 2006). À medida que a mineralogia dos Latossolos se torna mais oxídica, aumentam a adsorção de fósforo, o teor total e as formas ligadas mais fortemente ao alumínio e ferro (Motta et al., 2002), e por esse motivo, recomendam-se maiores doses de adubos fosfatados nesses solos (Almeida et al., 2003).

Para o suprimento de fósforo em pastagens implantadas no Brasil Central, onde há predomínio de Latossolos, a utilização de fontes solúveis, tais como os superfosfatos, acarreta em disponibilidade instantânea desse nutriente, o que é vantajoso, contudo, essas fontes apresentam maior custo devido ao processo de industrialização, além de que parte do fósforo estará sujeita à fixação no solo (Kaminski e Melo, 1984), reduzindo a sua disponibilidade às plantas (Lima et al., 2007). A resposta de gramíneas forrageiras a fontes de fósforo é bem diversificada, de maneira geral, os fertilizantes solúveis resultam em maior rendimento em milho (Harger et al., 2007; Luchini et al., 2012), cana-de-açúcar (Santos et al., 2009; Caione et al., 2011) e capins para pastejo (Nascimento et al., 2002; Ieri et al., 2010).

Os fosfatos naturais reativos possuem menor custo e podem reduzir a fixação de fósforo em solos altamente intemperizados, uma vez que a liberação do fósforo, prontamente disponível para absorção pelas plantas, ocorre de maneira gradual. Considerando os preços dos fertilizantes na região de Rondonópolis (MT), em março de 2014, enquanto o custo do superfosfato simples é de R\$ 4,90/kg P_2O_5 , a adubação com fosfato natural reativo apresenta o custo de R\$ 3,10/ kg P_2O_5 , o que demonstra que os fertilizantes de baixa solubilidade podem reduzir o custo do estabelecimento de pastagens. Contudo, a liberação gradual do fósforo proveniente do fosfato natural reativo é dependente da acidez do solo, que comumente é corrigida por meio da calagem.

São necessários estudos que viabilizem o uso do fosfato natural reativo associado à calagem, uma vez que a calagem é uma prática necessária no manejo adequado de adubação, principalmente pela disponibilização de cargas do solo para retenção de cátions (Albuquerque et al., 2003), o que aumenta a eficiência da adubação. A aplicação de fosfato natural reativo anteriormente a calagem propicia a liberação de fósforo (Cantarutti et al., 1981), contudo, possui o entrave de também facilitar a fixação de fósforo, posto que esse nutriente fica em contato ao solo por um longo período até a semeadura. A limitação do trabalho realizado por Cantarutti et al. (1981) está no fato de não terem utilizado uma fonte solúvel como referência e, portanto, não é possível identificar a eficiência do fosfato natural e nem mesmo uma possível fixação no solo pelo longo período de contato com o solo antes da semeadura. Além disso, a incorporação de fosfato natural reativo antes da calagem exige o uso de máquinas e implementos, o que aumenta o custo de produção.

A adubação com fosfato natural reativo após a calagem é limitada pela necessidade de acidez para a liberação do fósforo disponível nesse fertilizante. Para o uso de fosfato natural reativo após a calagem é necessário que o solo tenha fósforo disponível para o desenvolvimento inicial das plantas. Dessa forma, uma maneira de viabilizar o uso de fosfato natural reativo, após a calagem, em solos com baixo teor de fósforo é a utilização da acidificação do solo originada pela adubação nitrogenada.

Os fertilizantes nitrogenados, tais como a ureia e o sulfato de amônio, acidificam o solo por meio do processo de nitrificação. A ureia possui o limitante de elevar o pH momentaneamente após sua aplicação (Mantovani et al., 2007). Contudo, após a redução a amônio, o processo de nitrificação ocorre, acidificando

naturalmente o solo. O sulfato de amônio permite maior redução no pH do solo, comparativamente a ureia (Vitti et al., 2002; Costa et al., 2008; Sousa e Silva, 2009), o que pode beneficiar o uso do fosfato natural reativo. Entretanto, pela menor concentração de nitrogênio, o sulfato de amônio aumenta o custo de produção, e por isso, caso haja a possibilidade de utilizá-lo associado ao fosfato natural reativo, será necessário utilizá-lo de maneira conjunta a ureia para que a utilização seja economicamente viável.

A ureia por ser uma fonte nitrogenada altamente suscetível a perdas por volatilização (Lara Cabezas et al., 1997; Sangoi et al. 2003; Da Ros et al., 2005), além de uma elevação inicial no pH do solo após a aplicação (Kiehl, 1989; Ernani et al., 2001; Mantovani et al., 2007), pode não propiciar o uso integral de fosfato natural reativo na implantação de gramíneas forrageiras, sendo necessário avaliar a melhor proporção entre uma fonte solúvel de fósforo associado ao fosfato natural reativo. Dessa forma, objetivou-se avaliar as características produtivas e o valor SPAD do capim-marandu submetido à adubação com fosfato natural reativo associado a fertilizantes nitrogenados em Latossolo Vermelho argilo arenoso com baixo teor de fósforo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 5, p. 799-806, 2003.

ALMEIDA, J.A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. 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*, v. 27, n. 6, p.985-2002, 2002.

CAIONE, G.; TEIXEIRA, M. T. R.; LANGE, A.; SILVA, A. F.; FERNANDES, F. M. Modos de aplicação e doses de fósforo em cana-de-açúcar forrageira cultivada em Latossolo Vermelho Amarelo. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, v. 9, n. 1, p.1-11, 2011.

CANTARUTTI, R. B.; BRAGA, J. M.; NOVAIS, R. F.; THIÉBAUT, J. T. L. Época de aplicação de fosfato natural em relação à calagem, num solo com elevado teor de alumínio trocável. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 5, n. 2, p. 129-133, 1981.

CANTARUTTI, R. B.; MARTINEZ, H. E. P., CARVALHO, M. M. et al. Pastagens. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. ALVAREZ V., V. H. (Eds). *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação*. Viçosa: CFSEMG, 1999. Cap. 18, p.43-60.

COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P. et al. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I – alterações nas características químicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 4, p., 2008.

DA ROS, C. F.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia com aplicação de ureia na superfície do solo, no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v. 35, n. 4, p.799-805, 2005.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solo. Rio de Janeiro: CNPS/EMBRAPA, 2006. 412p.

ERNANI, P. R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 4, p. 939-946, 2001.

HARGER, N.; BRITO, O. R.; RALISCH, R.; ORTIZ, F. R.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 28, n. 1, p. 39-44, 2007.

IERI, A. Y.; LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H.; PERERIRA, H. S. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na recuperação de pastagem com *Brachiaria*. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 5, p. 1164-1160, 2010.

KAMINSKI, J.; MELO, F. A. F. Época de aplicação de fosfatos em relação ao calcário no suprimento de fósforo ao sorgo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 8, n. 3, p. 297-300, 1984.

KIEHL, J. C. Distribuição e retenção da amônia no solo após aplicação de ureia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 13, n. 1, p. 75-80, 1989.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 21, n. 3, p. 481-487, 1997.

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

LUCHINI, I.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; SANTOS, D. H. Fósforo disponível em solos ácidos e corrigidos com aplicação de fosfatos solúvel, reativo e natural. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 11, n. 1, p. 82-94, 2012.

MANTOVANI, A.; ERNANI, P. R.; SANGOI, L. A adição de superfosfato triplo e a percolação de nitrogênio no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 5, p. 887-895, 2007.

MOTTA, P. E. F.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J. O. et al. Adsorção e formas de fósforo em de Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 26, n. 1, p.349-359, 2002.

NASCIMENTO, J. L.; ALMEIDA, R. A.; SILVA, R. S. M.; MAGALHÃES, L. A. F. Níveis de calagem e fontes de fósforo na produção do capim tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 32, n. 1, p. 7-11, 2002.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. *Ciência Rural*, v.33, n.4, p.687-692, 2003.

SANTOS, V. R.; MOURA-FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W.; COSTA, J. P. V.; SANTOS, C. G.; SANTOS, A. C. I. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009.

SOUSA, R. A.; SILVA, T. R. B. Acidificação de um Latossolo Vermelho Distroférico em função da aplicação de nitrogênio oriundo de ureia, sulfato de amônio e sulfammo. *Cultivando o Saber*, v. 2, n. 3, p. 78-83, 2009.

VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G. Calagem e adubação para pastagens. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2004. p. 367-382.

VITTI, G. C.; TAVARES JUNIOR, J. E.; LUZ, P. H. C.; FAVARIN, J. L.; COSTA, M. C. G. Influência da mistura de sulfato de amônio com ureia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n. 3, p. 663-671, 2002.

2 FOSFATO NATURAL REATIVO E FERTILIZANTES NITROGENADOS NA ADUBAÇÃO DO CAPIM-MARANDU

RESUMO – Existe uma problemática referente à fixação de fósforo em solos altamente intemperizados e uma possível alternativa para mitigar esse efeito é o uso de fosfato natural reativo. Assim, objetivou-se se identificar um fertilizante nitrogenado que permita o uso de fosfato natural reativo na adubação do capim-marandu em Latossolo argilo arenoso com baixo teor de fósforo. O experimento foi realizado em casa de vegetação, da Universidade Federal de Mato Grosso, *Campus* Universitário de Rondonópolis. Para todas as variáveis avaliadas, com exceção da massa seca de resíduo e raízes, o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas no tempo com oito repetições. Como houve uma única coleta de raízes e resíduo, adotou-se delineamento inteiramente casualizado com oito repetições. As parcelas consistiram em seis tratamentos de adubação do capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), sendo quatro tratamentos aplicados na presença de calagem e dois tratamentos associados à ausência de calagem. Os tratamentos aplicados na presença de calagem foram: superfosfato simples e ureia, superfosfato simples e sulfato de amônio, fosfato natural reativo e ureia, fosfato natural reativo e sulfato de amônio. Os tratamentos aplicados na ausência de calagem foram: fosfato natural reativo e ureia, fosfato natural reativo e sulfato de amônio. As subparcelas consistiram na avaliação de três períodos de crescimento. Cada unidade experimental foi constituída de um vaso com capacidade de 5,0 dm³ contendo cinco plantas, adubadas com a dose de fósforo (P₂O₅) de 300 mg dm⁻³. O sulfato de amônio permite o uso de fosfato natural reativo na adubação do capim-marandu mesmo após a calagem, enquanto a ureia não proporciona acidez do solo suficiente para o uso desse fertilizante.

Palavras-chave: *Brachiaria brizantha*, fósforo, ureia, sulfato de amônio.

ROCK PHOSPHATE AND NITROGEN FERTILIZER IN PALISADEGRASS

ABSTRACT – There is a problem of fixation phosphorus in highly weathered soils and a possible alternative to mitigate this effect is use of rock phosphate. Thus, this study aimed to identify nitrogen fertilizer to allow the use of reactive rock phosphate in fertilization palisadegrass in Oxisol sandy clayey with low phosphorus. The experiment was made in a greenhouse at Universidade Federal de Mato Grosso, in experimental design completely randomized, in split-plot with eight replications. The main plots six treatments, being four treatments applied after liming and two treatments without liming. Treatments in presence liming were: superphosphate and urea, superphosphate and ammonium sulfate, urea and phosphate rock, phosphate rock and ammonium sulfate. Treatments without liming were: phosphate rock and urea, phosphate rock and ammonium sulfate. Split-plot was three growth times. Each experimental unit consisted in pots with a capacity of 5.0 dm³ containing five plants, fertilized with phosphorus dose 300 mg dm⁻³. Ammonium sulfate allows the use of reactive rock phosphate in fertilization palisadegrass even after liming, while urea does not provide sufficient acidity.

Keywords: *Brachiaria brizantha*, phosphorus, urea, ammonium sulfate.

INTRODUÇÃO

O fósforo possui forte interação com o solo, o que pode acarretar em menor eficácia da adubação ou uso de elevadas doses desse nutriente. À medida que a mineralogia dos Latossolos, classe que predomina do Brasil, torna-se mais oxídica, aumentam as formas ligadas mais fortemente ao alumínio e ao ferro (Motta et al., 2002) e a adsorção de fósforo (Cessa et al., 2009), em virtude do elevado ponto de carga zero desses minerais. Por esses motivos, devem-se recomendar maiores doses de adubos fosfatados nesses solos (Almeida et al., 2003).

Dessa forma, o fosfato natural reativo pode ser uma alternativa na adubação de gramíneas forrageiras, reduzindo a fixação de fósforo por meio da sua solubilização gradual, além de reduzir o custo da adubação fosfatada. Contudo, a solubilização desse fertilizante ocorre em solos ácidos (Goedert e Lobato, 1984; Guedes et al., 2009), por isso, recomenda-se que o fosfato natural reativo seja aplicado ao solo antes ou junto com a calagem, embora em ambas situações tenha se observado menor eficiência que fertilizantes solúveis (Kaminski e Mello, 1984). Em condições de pH mais alcalino, para aumentar a eficiência desse fertilizante, recomenda-se o uso de adubação orgânica, adubos verdes e microrganismos (Kaleeswari e Subramania, 2001).

Mesmo em solos com acidez corrigida, a nitrificação do amônio do solo contribui para a acidificação da camada superficial do solo, principalmente quando altas doses de fertilizantes nitrogenados são aplicadas (Ciotta et al., 2002). Tendo em vista que o nitrogênio é um nutriente mais requerido na adubação de manutenção de gramíneas forrageiras, pode ser viável identificar um fertilizante nitrogenado que possibilite o uso de fosfato natural reativo após a calagem. Embora

todo fertilizante nitrogenado reduza o pH do solo pelo processo de nitrificação, o sulfato de amônio propicia maior acidificação que a ureia (Costa et al., 2008; Sangoi et al. 2009; Sousa e Silva, 2009, Delbem et al., 2011), o que pode otimizar o uso do fosfato natural reativo. Dessa forma, objetivou-se identificar um fertilizante nitrogenado que permita o uso de fosfato natural reativo na adubação do capim-marandu em Latossolo Vermelho argilo arenoso com baixo teor de fósforo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, da Universidade Federal de Mato Grosso, *Campus* Universitário de Rondonópolis. Para todas as variáveis avaliadas, com exceção da massa seca de resíduo e raízes, o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com oito repetições e em esquema de parcelas subdivididas no tempo. Como houve uma única coleta de raízes e resíduo, então, adotou-se delineamento inteiramente casualizado com oito repetições.

As parcelas consistiram em seis tratamentos de adubação do capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), sendo quatro tratamentos aplicados na presença de calagem e dois tratamentos associados à ausência de calagem. Os tratamentos aplicados na presença de calagem foram: superfosfato simples e ureia, superfosfato simples e sulfato de amônio, fosfato natural reativo e ureia, fosfato natural reativo e sulfato de amônio. Os tratamentos aplicados na ausência de calagem foram: fosfato natural reativo e ureia, fosfato natural reativo e sulfato de amônio. As subparcelas consistiram na avaliação de três períodos de crescimento, sendo o primeiro período avaliado 30 após a emergência do capim-marandu, e os demais períodos avaliados 20 dias após a avaliação anterior. As composições dos fertilizantes utilizados foram: fosfato natural reativo (29% P_2O_5 ; 32% Ca), superfosfato simples (20% P_2O_5 , 17% Ca, 11% S), ureia (46%N), sulfato de amônio (21% N, 24 %S) e cloreto de potássio (58% K_2O). O fosfato natural reativo apresentava 14% de fósforo solúvel em ácido cítrico.

Cada unidade experimental foi constituída de um vaso com capacidade de $5,0\text{ dm}^3$ contendo cinco plantas. 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.

TABELA 1. Caracterização granulométrica e química, com respectiva interpretação, de Latossolo Vermelho de classe textural argila arenosa proveniente de Cerrado nativo

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H	CTC	V	m	Areia	Silte	Argila
CaCl ₂	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³				%		g kg ⁻¹			
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	-	-	-

Interpretação da análise: MB - muito baixo; B - baixo; M - médio; A - alto (Cantarutti et al., 1999).

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.

Após o período de incubação do solo com calcário para correção da acidez do solo foi feita a adubação de implantação, que consistiu na aplicação de fósforo e micronutrientes. A dose de fósforo (P₂O₅) aplicada foi de 300 mg dm⁻³ e se utilizou superfosfato simples e fosfato natural reativo, conforme os 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 mg dm⁻³, respectivamente (Bonfim-Silva e Monteiro, 2010).

Após a adubação de implantação realizou-se a semeadura do capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), com 25 sementes por vaso. Após a emergência das plântulas foi feito o desbaste, deixando cinco plantas por vaso. O critério para o desbaste foi baseado no vigor e uniformidade das plântulas. Após o desbaste foi realizada a adubação nitrogenada e potássica (K₂O), nas doses de 200 e

100 mg dm⁻³, respectivamente. Para o suprimento de nitrogênio foram utilizados os fertilizantes descritos nos tratamentos e o potássio na forma de cloreto de potássio. No primeiro crescimento, a adubação com nitrogênio e potássio foi parcelada em quatro aplicações iguais para evitar uma pressão osmótica elevada, referenciada por Batista e Monteiro (2008).

Trinta dias após a emergência foi medido o 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, depois submetidas à secagem em estufa de circulação de ar a 65°C por 72 horas (Silva e Queiroz, 2002), e, posteriormente pesadas. Esse procedimento foi repetido na avaliação do segundo e terceiro crescimento, que ocorreram 20 dias após a avaliação anterior.

Após cada corte foi reaplicada a adubação com nitrogênio e potássio, em doses de 200 e 100 mg dm⁻³, respectivamente, com as mesmas fontes já mencionadas. Em todos os cortes foram coletadas amostras de solo para análise de pH em cloreto de cálcio, conforme a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). Na avaliação do terceiro crescimento, além dos mesmos procedimentos dos cortes anteriores, foram coletadas a massa de resíduo e as raízes. A massa de resíduo é a massa vegetal presente abaixo da altura de corte. 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°C por 72 horas e, posteriormente, pesadas.

As variáveis avaliadas foram: massa seca da parte aérea, lâminas foliares, colmo+bainha, resíduo e raízes; número de folhas, perfilhos, SPAD e pH do solo. Os resultados foram submetidos ao teste de Lilliefors (normalidade de resíduos) e Cochran (homogeneidade de variâncias). Como não se observou normalidade de resíduos para o número de folhas e perfilhos, procedeu-se a transformação dos dados ($\sqrt{x+1,0}$). Em caso de diferença estatística, realizou-se o teste de agrupamento de médias de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro. Para

mensurar a associação entre as variáveis e o pH do solo, utilizou-se o teste t para o coeficiente de correlação de Pearson, com 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos e os períodos de crescimento para todas as variáveis avaliadas em esquema de parcela subdividida no tempo. No primeiro crescimento, evidenciou-se a maior massa seca da parte aérea e lâminas foliares quando o capim-marandu foi adubado com superfosfato simples e sulfato de amônio na presença de calagem (Tabela 2).

A maior produção do capim-marandu adubado com superfosfato simples, no primeiro crescimento, ocorreu porque o suprimento de uma fonte com fósforo prontamente disponível para absorção é importante para o estabelecimento de gramíneas (Maciel et al., 2007), uma vez que o fósforo é o nutriente mais requerido na implantação de gramíneas forrageiras (Cantarutti et al., 1999). Maiores produções de gramíneas adubadas com fontes solúveis de fósforo foram observadas em vários trabalhos científicos (Resende et al., 2006; Harger et al., 2007; Santos et al., 2009; Sousa e Korndörfer, 2011). Esse melhor desempenho de fontes solúveis de fósforo em relação aos fosfatos naturais reativos ocorre porque os fertilizantes solúveis aumentam em curto prazo os teores de fósforo disponível (Luchini et al., 2012), sendo esse nutriente imprescindível no estabelecimento do sistema radicular. Tem-se observado redução em 57% na massa seca radicular do capim-marandu, quando este é cultivado em ausência de adubação fosfatada (Rezende et al., 2011).

TABELA 2. Massa seca da parte aérea, lâminas foliares, colmo+bainha, número de perfilho e folhas do capim-marandu submetido à adubação com fertilizantes fosfatados e nitrogenados em três períodos de crescimento

Tratamentos	CC SS AM	CC SS UR	CC FN AM	CC FN UR	SC FN AM	SC FN UR
Massa seca da parte aérea (g vaso ⁻¹)						
1º crescimento	16,89 a C	13,30 b C	5,21 c B	0,10 d C	12,20 b B	4,68 c B
2º crescimento	36,79 a A	28,66 b A	34,21 a A	5,79 d B	30,21 b A	16,36 c A
3º crescimento	27,11 a B	20,98 b B	30,38 a A	19,56 b A	3,00 d C	13,64 c A
CV(%): 9,87						
Massa seca de lâminas foliares (g vaso ⁻¹)						
1º crescimento	14,67 a C	11,48 b C	4,58 c B	0,10 d C	11,12 b B	4,06 c B
2º crescimento	32,06 a A	23,85 b A	28,72 a A	5,00 d B	26,74 b A	14,53 c A
3º crescimento	22,60 a B	18,06 b B	25,44 a A	15,85 b A	2,51 d C	11,94 c A
CV(%): 9,36						
Massa seca da colmo+bainha (g vaso ⁻¹)						
1º crescimento	2,22 a B	1,83 a B	0,63 b B	0,00 c B	1,08 b B	0,62 b B
2º crescimento	4,73 a A	4,81 a A	5,49 a A	0,78 d B	3,48 b A	1,82 c A
3º crescimento	4,50 a A	2,92 b B	4,94 a A	3,71 b A	0,49 d B	1,70 c A
CV(%): 12,99						
Perfilhos vaso ^{-1*}						
1º crescimento	43,75 a C	35,60 a C	22,71 b C	8,80 c C	41,83 a A	21,00 b C
2º crescimento	63,12 a B	47,60 b B	49,00 b B	23,60 d B	45,67 b A	35,62 c B
3º crescimento	84,12 a A	71,60 b A	72,00 b A	42,80 d A	34,17 e B	51,50 c A
CV(%): 7,71						
Folhas vaso ^{-1*}						
1º crescimento	118,75 a C	97,00 a C	57,28 b C	5,40 c C	104,50 a B	61,88 b C
2º crescimento	185,00 a B	133,60 b B	172,71 a B	55,80 d B	164,00 a A	89,00 c B
3º crescimento	235,75 a A	217,40 a A	252,43 a A	156,40 b A	84,50 c C	167,75 b A
CV(%): 9,76						

CC SS AM: calagem com superfosfato simples e sulfato de amônio, CC SS UR: calagem com superfosfato simples e ureia, CC FN AM: calagem com fosfato natural reativo e sulfato de amônio, CC FN UR: calagem com fosfato natural reativo e ureia, SC FN AM: sem calagem com fosfato natural reativo e sulfato de amônio, SC FN UR: sem calagem com fosfato natural reativo e ureia. CV (%): coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, não diferem pelo teste de Scott Knott ($p>0,05$).

*O teste de média foi realizado com os dados submetidos à transformação $\sqrt{x+1,0}$.

O suprimento de enxofre, por meio do sulfato de amônio, é importante para síntese proteica, tendo em vista que o fornecimento simultâneo de nitrogênio e enxofre, na relação de 7:1 a 11:1, contribui para recuperação do capim-decumbens, aumenta área foliar, a produção de massa seca e melhora a eficiência no uso de água (Bonfim-Silva et al., 2007). Além disso, observam-se menores perdas de nitrogênio por volatilização quando se utiliza o sulfato de amônio, comparativamente a ureia (Vitti et al., 2002; Stafanato et al., 2013).

No primeiro crescimento, observou-se no capim-marandu, cultivado em solo com calagem e adubado com superfosfato simples e ureia, a mesma produção de parte aérea e lâminas foliares do capim cultivado em solo sem calagem e adubado com fosfato natural reativo e sulfato de amônio. Isso demonstra que acidez natural do Latossolo (Tabela 1) associada à acidificação resultante da nitrificação do amônio (Tabela 3) no solo é capaz de fazer com que o fosfato natural reativo atinja a mesma

eficiência de uma fonte solúvel de fósforo. Mesmo que sejam observados resultados promissores do fosfato natural reativo em solo naturalmente ácidos, a calagem é uma prática que deve ser adotada mesmo em culturas tolerantes a acidez, como as forrageiras do gênero *Brachiaria*. A calagem reduz a solubilidade de micronutrientes catiônicos, evitando ocorrência de toxidez e aumenta a CTC variável do solo, o que eleva a eficiência da adubação e atenua a ocorrência de lixiviação de nutrientes essenciais, tais como o nitrogênio (amônio), potássio, cálcio e magnésio.

TABELA 3. Médias de pH do solo cultivado com capim-marandu submetido à adubação com fontes fosfatadas e nitrogenadas durante três períodos de crescimento

Tratamentos	CC SS AM	CC SS UR	CC FN AM	CC FN UR	SC FN AM	SC FN UR
1º crescimento	4,16 d A	5,37 a A	4,97 b A	5,76 a A	3,73 d A	4,62 c A
2º crescimento	3,93 c A	5,05 a A	3,95 c B	4,83 a B	3,72 c A	4,40 b A
3º crescimento	3,59 c B	4,69 a B	3,19 c C	5,08 a B	3,82 b A	4,14 b A

CV(%): 5,28
 CC SS AM: calagem com superfosfato simples e sulfato de amônio, CC SS UR: calagem com superfosfato simples e ureia, CC FN AM: calagem com fosfato natural reativo e sulfato de amônio, CC FN UR: calagem com fosfato natural reativo e ureia, SC FN AM: sem calagem com fosfato natural reativo e sulfato de amônio, SC FN UR: sem calagem com fosfato natural reativo e ureia. CV (%): coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, não diferem pelo teste de Scott Knott ($p > 0,05$).

No primeiro crescimento, em presença ou ausência de calagem, o fosfato natural reativo associado ao sulfato de amônio proporcionou maior massa seca da parte aérea, lâminas foliares, número de folhas e perfilhos do capim-marandu, comparativamente a associação desse mesmo fertilizante fosfatado a ureia (Tabela 2). Observou-se menor pH do solo nos tratamentos adubados com sulfato de amônio (Tabela 3), o que favoreceu, possivelmente, a solubilização do fosfato natural reativo, uma vez que a acidez do solo propicia a solubilização desse fertilizante (Goedert e Lobato, 1984; Guedes et al., 2009). He et al. (1999) observaram que o sulfato de amônio aumenta a solubilização inicial do fosfato natural, o que está associado a redução do pH do solo.

Embora ambos fertilizantes nitrogenados acidifiquem o solo devido à ocorrência da nitrificação, observou-se nos solos adubados com ureia maiores valores de pH (Tabela 3), o que pode ter minimizado a solubilização de fosfato natural reativo. Resultados semelhantes foram observados (Costa et al., 2008; Sangoi et al. 2009; Sousa e Silva, 2009), e a menor acidificação do solo adubado com ureia ocorre devido à perda de amônia por volatilização, que acarreta em

quantidades menores de amônio disponível para nitrificação, que é um processo que libera hidrogênios para o solo (Barbosa Filho et al., 2005).

Outra hipótese para menor acidificação do solo pela ureia, comparativamente ao sulfato de amônio, é que a ureia reage com hidrogênios do solo na formação do amônio (Silva e Vale, 2000; Mantovani et al., 2007), o que inicialmente aumenta o pH do solo. Kiehl (1989) observou incrementos no pH do solo de 4,8 a 6,6 e 6,0 a 7,1 em Neossolo e Nitossolo, respectivamente, após a aplicação de ureia. Além disso, He et al. (1999) inferiram que houve menor dissolução de fosfato natural associado a ureia em função do aumento do pH inicial no solo.

No segundo e terceiro crescimento, a massa seca de parte aérea do capim-marandu adubado com fosfato natural reativo e sulfato de amônio igualou-se àquela observada na adubação com superfosfato simples e sulfato de amônio e foi maior do que a massa seca observada no capim adubado com superfosfato simples e ureia, sendo todos esses tratamentos aplicados em solo com calagem. Observa-se que a acidez do solo proveniente do sulfato de amônio permite o uso de fosfato natural reativo mesmo após a prática da calagem.

No primeiro crescimento, observou-se menor valor SPAD no capim-marandu cultivado em solo com calagem adubado com fosfato natural reativo e ureia (Tabela 4). A possível influência do fósforo no valor SPAD está associada ao gasto energético na 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, e que pode ter sido limitante pelo uso de fosfato natural reativo solo com maior pH (Tabela 3).

TABELA 4. Médias de valor SPAD, massa seca do resíduo e raízes do capim-marandu submetido à adubação com fontes fosfatadas e nitrogenadas durante três períodos de crescimento

Tratamentos	CC SS AM	CC SS UR	CC FN AM	CC FN UR	SC FN AM	SC FN UR
SPAD						
1º crescimento	56,41 a A	54,30 a A	54,16 a A	30,40 b C	54,77 a A	51,15 a A
2º crescimento	48,05 a B	40,92 b B	53,08 a A	50,50 a B	45,94 b B	42,61 b B
3º crescimento	58,01 a A	53,61 b A	58,25 a B	58,60 a A	52,02 b A	49,38 b A
CV(%): 3,69						
Massa seca de resíduo (g vaso ⁻¹)						
CV(%): 17,39	71,70 a	58,19 a	54,02 a	22,84 b	33,40 b	31,83 b
Massa seca de raízes (g vaso ⁻¹)						
CV(%): 32,81%	32,89 a	29,28 a	30,72 a	10,72 d	24,24 b	17,74 c

CC SS AM: calagem com superfosfato simples e sulfato de amônio, CC SS UR: calagem com superfosfato simples e ureia, CC FN AM: calagem com fosfato natural reativo e sulfato de amônio, CC FN UR: calagem com fosfato natural reativo e ureia, SC FN AM: sem calagem com fosfato natural reativo e sulfato de amônio, SC FN UR: sem calagem com fosfato natural reativo e ureia. CV (%): coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, não diferem pelo teste de Scott Knott ($p > 0,05$).

No segundo e terceiro corte da gramínea forrageira os maiores valores SPAD foram observados nos capins cultivados em solo com calagem e adubados superfosfato simples e sulfato de amônio e fosfato natural reativo associado a ambos fertilizantes nitrogenados (Tabela 4). Contudo, somente o superfosfato simples e o fosfato natural reativo associados ao sulfato de amônio que permitiram agregar elevada produção de massa seca da parte aérea (Tabela 2) e maior valor SPAD, ou seja, elevada concentração de nitrogênio, uma vez que o SPAD e a concentração de nitrogênio apresentam correlação positiva (Cabral et al., 2013).

Houve a mesma massa seca de raízes entre os tratamentos adubados com superfosfato simples e àqueles adubados com fosfato natural reativo e sulfato de amônio (Tabela 5), embora se tenha observado diferença nas produções de parte aérea das plantas. Isso se justifica pela variação nos dados coletados (CV: 32,81%), e esta pode ter ocorrido pela dificuldade metodológica da coleta de raízes por meio de peneiramento, por meio do qual as raízes mais finas são perdidas. Outra possibilidade está na diferença entre massa de raízes e massa de raízes efetivas na absorção de nutrientes, o que pode indicar que massas radiculares diferentes podem absorver mesmas quantidades de nutrientes, ou mesmo massas iguais absorverem quantidades diferentes de nutrientes, uma vez que raízes que possuem exoderme apresentam material hidrofóbico, o que reduz a permeabilidade a água (Holbrook, 2004).

Com relação massa seca do resíduo, houve a mesma produção entre os capins adubados com superfosfato simples e àqueles adubados com fosfato natural reativo e sulfato de amônio (Tabela 4). A massa seca de raízes e do resíduo está associado ao potencial de rebrota das gramíneas forrageiras, já que as raízes e a base do colmo apresentam reservas orgânicas de carboidratos e tornam-se fonte na relação fonte-dreno quando há limitação da área foliar residual (Rodrigues et al., 2007), o que ocorre pós o corte da gramínea. Além disso, o resíduo é a porção da forrageira que apresenta área foliar residual e gemas basais e laterais para uma rebrota adequada do capim.

Observou-se correlação negativa significativa ($p < 0,01$) entre o pH do solo e todas as variáveis avaliadas, exceto para o valor SPAD. Portanto, ocorre associação entre o pH do solo e a produção de massa seca da parte aérea ($r = -0,43$), lâminas foliares ($r = -0,42$), colmo+bainha ($r = -0,42$), número de folhas ($r = -0,57$) e de perfilhos ($r = -0,58$) do capim-marandu. Por isso, à medida que diminuiu o pH do solo houve aumento na produção e vice-versa. Essa correlação corrobora com as informações fornecidas por Goedert e Lobato (1984) e Guedes et al. (2009), em que o aumento na eficiência de fosfato naturais reativos associa-se a redução do pH do solo.

CONCLUSÕES

O sulfato de amônio possibilita o uso de fosfato natural reativo, após a calagem, na adubação do capim-marandu em Latossolo Vermelho argilo arenoso com baixo teor de fósforo, enquanto a ureia não proporciona acidez do solo suficiente para o uso desse fertilizante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 6, p. 985-1002, 2003.

BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. Fontes, doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura para feijoeiro comum irrigado. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 29, n. 1, p. 69-76, 2005.

BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. 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*, v.37, n.7, p.1151-1160, 2008.

BLOOM, A. J., SUKRAPANNA, S. S., WARNER, R. L. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. *Plant Physiology*, v. 99, n. 4, p. 1294-1301, 1992.

BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A.; SILVA, T. J. A. Nitrogênio e enxofre na produção e no uso de água pelo capim-braquiária em degradação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.2, p. 309-317, 2007.

BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A. Nitrogênio e enxofre na adubação e em folhas diagnósticas e raízes do capim-braquiária em degradação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, n.8, p. 1641-1649, 2010.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE D.; Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. *Revista Caatinga*, v. 24, n. 2, p. 180-186, 2011.

CABRAL, C. E. A.; ABREU, J. G.; BONFIM-SILVA, E. M.; CABRAL, C. H. A.; SCARAMUZZA, J. F.; SILVA, T. J. A. Eficiência de produção e concentração de nitrogênio nos capins marandu, decumbens e convert submetidos à adubação nitrogenada. *Bioscience Journal*, v. 29, supl. 1, p. 1653-1663, 2013.

- CANTARUTTI, R. B.; MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, M. M.; FONSECA, D. M.; ARRUDA, A. L.; VILELA, H.; OLIVEIRA, F. T. T. Pastagens. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. ALVAREZ V., V. H. (Eds). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.43-60.
- CESSA, R. M. A.; CELI, L.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; BARBERIS, E. Área superficial específica, porosidade da fração argila e adsorção de fósforo em dois Latossolos Vermelhos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 5, p. 1153-1162, 2009.
- CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n. 4, p. 1055-1064, 2002.
- COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P.; RODRIGUES, C.; SEVERIANO, E. C. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I - Alterações nas características químicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 4, p. 1591-2599, 2008.
- DELBEM, F. C.; SCABORA, M. H.; SOARES FILHO, C. V.; HEINRICHS, R.; CROCIOLLI, C. A.; CASSIOLATO, A. M. R. Fontes e doses de adubação nitrogenada na atividade microbiana e fertilidade do solo cultivado com *Brachiaria brizantha*. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 33, n. 2, p. 361-367, 2011.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Manual de métodos de análises de solo. Centro Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1997. 212p.
- GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.8, p.97-102, 1984.
- GUEDES, E. M.; FERNANDES, A. R.; LIMA, E. V.; GAMA, M. A. P.; SILVA, A. L. P. Fosfato natural de arad e calagem e o crescimento de *Brachiaria brizantha* em Latossolo Amarelo sob pastagem degradada na Amazônia. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 52, n. 1, p. 117-129, 2009.
- HARGER, N.; BRITO, O. R.; RALISCH, R.; ORTIZ, F. R.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 28, n. 1, p. 39-44, 2007.
- HE, Z. L.; BALIGAR, V. C.; MARTENS, D. C.; RITCHEY, K. D.; ELRASHIDI, M. Effect of byproduct, nitrogen fertilizer, and zeolite on phosphate rock dissolution and extractable phosphorus in acid soil. *Plant and Soil*, v. 208, n. 2, p. 199-207, 1999.
- HOLBROOK, N. M. Balanço hídrico das plantas. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3 ed. Porto Alegre: ARTMED, 2004. p. 75-93
- KALEESWARI, R. K.; SUBRAMANIAN, S. Chemical reactivity of phosphate rocks – A review. *Agricultural Reviews*, v. 22, n. 2, p. 121-126, 2001.
- KAMINSKI, K.; MELLO, F. A. F. Época de aplicação de fosfatos em relação ao calcário no suprimento de fósforo ao sorgo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 8, n. 1, p. 297-300, 1984.
- KIEHL, J. C. Distribuição e retenção da amônia no solo após a aplicação de ureia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 13, n. 1, p. 75-80, 1989.

- LUCHINI, I.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; SANTOS, D. H. Fósforo disponível em solos ácidos e corrigidos com aplicação de fosfatos solúvel, reativo e natural. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 11, n. 1, p. 82-94, 2012.
- MACIEL, G. A.; COSTA, S. E. G. V. A.; FURTINI NETO, A. E.; FERREIRA, M. M.; EVANGELISTA, A. R. Efeito de diferentes fontes de fósforo na *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada em dois tipos de solos. *Ciência Animal Brasileira*, v. 8, n. 2, p. 227-233, 2007.
- MANARIM, C. A.; MONTEIRO, F. A. Nitrogênio na produção e diagnose foliar do capim-mombaça. *Boletim de Indústria Animal*, v. 59, n. 2, p. 115-123, 2003.
- MANTOVANI, A.; ERNANI, P. R.; SANGOI, L. A adição de superfosfato triplo e a percolação de nitrogênio no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 5, p. 887-895, 2007.
- MOTTA, P. E. F.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; VAN RAIJ, B. FURTINI NETO, A. E.; LIMA, J. M. Adsorção e formas de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n. 2, p. 349-359, 2002.
- PREMAZZI, L. M.; MONTEIRO, F. A. Produção do capim-tifton 85 submetido a doses e épocas de aplicação de nitrogênio após o corte. *Boletim de Indústria Animal*, v. 59, n. 1, p. 1-16, 2002.
- RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; LAGO, F. J. Resposta do milho a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solo da região do Cerrado. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 30, n. 3, p. 458-466, 2006.
- REZENDE, A. V.; LIMA, J. F.; RABELO, C. H. S.; RABELO, F. H. S.; NOGUEIRA, D. A.; CARVALHO, M.; FARIA JUNIOR, D. C. N. A.; BARBOSA, L. A. Características morfofisiológicas da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em resposta à adubação fosfatada. *Revista Agrarian*, v. 4, n. 14, p. 335-343, 2011.
- RODRIGUES, R. S.; MOURÃO, G. B.; VALINOTE, A. C.; HERLING, V. R. Reservas orgânicas, relação parte aérea-raiz e C-N e eliminação do meristema apical no capim-xaraés sob doses de nitrogênio e potássio. *Ciência Animal Brasileira*, v. 8, n. 3, p. 505-514, 2007.
- SANGOI, L.; ERNANI, P. R. BIANCHET, O. Desenvolvimento inicial do milho em função de doses e fontes de nitrogênio aplicadas na semeadura. *Biotemas*, v. 22, n. 4, p. 53-58, 2009.
- SANTOS, V. R.; MOURA-FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W.; COSTA, J. P. V.; SANTOS, C. G.; SANTOS, A. C. I. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009.
- SILVA, C. A.; VALE, F. R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 12, p. 2461-2471, 2000.
- SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. *Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos*. 3. ed. Viçosa: UFV, 2002. 235p.
- SOUSA, R. A.; SILVA, T. R. B. Acidificação de um Latossolo Vermelho Distroférico em função da aplicação de nitrogênio oriundo de ureia, sulfato de amônio e sulfammo. *Cultivando o Saber*, v. 2, n. 3, p. 78-83, 2009.

SOUSA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H. Efeito da aplicação de fertilizantes fosfatados na produtividade e variáveis tecnológicas da cana-de-açúcar. *Enciclopédia Biosfera*, v. 7, n. 12, p. 1-10, 2011.

STEFANATO, J. B.; GOULART, R. S.; ZONTA, E.; LIMA, E.; MAZUR, N.; PEREIRA, C. G.; SOUZA, H. N. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 3, p. 726-732, 2013.

VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G. Calagem e adubação para pastagens. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2004. p. 367-382.

VITTI, G. C.; TAVARES JUNIOR, J. E.; LUZ, P. H. C.; FAVARIN, J. L.; COSTA, M. C. G. Influência da mistura de sulfato de amônio com ureia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n. 3, p. 663-673, 2002.

3 SUBSTITUIÇÃO DE SUPERFOSFATO SIMPLES POR FOSFATO NATURAL REATIVO NA ADUBAÇÃO CULTIVO DO CAPIM-MARANDU

RESUMO – Em solos com baixo teor de fósforo e acidez corrigida, há restrição no uso de fosfato natural reativo associado à ureia. Por isso, é necessário verificar a substituição parcial de uma fonte solúvel de fósforo por fosfato natural reativo, de tal forma que otimize a produção de gramíneas forrageiras. 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. O experimento foi realizado em casa de vegetação, da Universidade Federal de Mato Grosso, *Campus* Universitário de Rondonópolis. Para todas as variáveis avaliadas, com exceção da massa seca de resíduo e raízes, o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com oito repetições e em esquema de parcelas subdivididas no tempo. Como houve uma única coleta de raízes e resíduo, adotou-se delineamento inteiramente casualizado com oito repetições. 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. Cada unidade experimental foi constituída de um vaso com capacidade de 5,0 dm³ contendo cinco plantas, com dose de fósforo (P₂O₅) de 300 mg dm⁻³. Foram realizados três cortes na parte aérea do capim-marandu e 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*, fertilizantes fosfatados, fósforo, Latossolo.

SUBSTITUTION OF SUPERPHOSPHATE FOR ROCK PHOSPHATE IN PALISADEGRASS

ABSTRACT – In soils with low phosphorus and acidity corrected, has restriction on the use of reactive phosphate associated with urea. Therefore, is necessary to test partial substitution of soluble source of phosphorus for rock phosphate, so that optimize the grasses production. Thus, aimed to identify the 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. The experiment was conducted in a greenhouse, of Universidade Federal do Mato Grosso, *Campus Rondonópolis*. For all variables, with the exception of the dry mass of residue and roots, the experimental design was completely randomized with eight replications and a split plot in time. As there was one cut roots and residue, adopted a completely randomized 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. Each experimental unit consisted in pots with a capacity of 5.0 dm³ containing five plants with phosphorus dose of 300 mg dm⁻³. Three cuts were made in palisadegrass aerial part and the variables evaluated were: shoot dry mass, leaf blade, stem, root and residue, number of leaves, tillers, SPAD value and cost of phosphate fertilization. The bigger production shoot dry mass and lower cost of the phosphate fertilizer palisadegrass occur when applying, after liming, 35 % of phosphorus in form rock phosphate and 65% in form of superphosphate.

KEYWORDS: *Brachiaria brizantha*, phosphatic fertilizers, phosphorus, Oxisol.

INTRODUÇÃO

O fósforo é um nutriente limitante no primeiro crescimento de gramíneas forrageiras (Cantarutti et al., 1999), além disso, apresenta elevada capacidade de fixação no solo, principalmente naqueles em que há predomínio de óxidos, em especial goethita e gibsita (Ker, 1997). À medida que a mineralogia dos Latossolos torna-se mais oxídica, aumentam a adsorção de fósforo, 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).

Dessa forma, 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.

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. 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, da Universidade Federal de Mato Grosso, *Campus* Universitário de Rondonópolis. Para todas as variáveis avaliadas, com exceção da massa seca de resíduo, raízes e custo da adubação fosfatada, o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com oito repetições e em esquema de parcelas subdivididas no tempo. Para massa seca de resíduo, raízes e custo da adubação adotou-se delineamento inteiramente casualizado com oito repetições.

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 na avaliação de três períodos de crescimento, sendo o primeiro período avaliado 30 dias após a emergência do capim-marandu, e os demais períodos avaliados 20 dias após a avaliação anterior. As composições dos fertilizantes utilizados foram: fosfato natural reativo (29% P_2O_5 ; 32% Ca), superfosfato simples (20% P_2O_5 , 17% Ca, 11% S), ureia (46%N), sulfato de amônio (21% N, 24 %S) e cloreto de potássio (58% K_2O). O fosfato natural reativo apresentava 14% de fósforo solúvel em ácido cítrico.

Cada unidade experimental foi constituída de um vaso com capacidade de $5,0\text{ dm}^3$ contendo cinco plantas. 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.

TABELA 1. Caracterização granulométrica e química, com respectiva interpretação, de Latossolo Vermelho argilo arenoso proveniente de Cerrado nativo

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H	CTC	V	m	Areia	Silte	Argila
CaCl ₂	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³					%		g kg ⁻¹		
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	-	-	-

Interpretação da análise: MB - muito baixo; B - baixo; M - médio; A - alto (Cantarutti et al., 1999).

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.

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 (P₂O₅) aplicada foi de 300 mg dm⁻³ e se utilizou 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 mg dm⁻³, respectivamente (Bonfim-Silva e Monteiro, 2010).

Após a adubação de implantação realizou-se a semeadura do capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), com 25 sementes por vaso. 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 (K₂O), nas doses de 200 e 100 mg dm⁻³, na forma de ureia e cloreto de potássio, 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 e Monteiro (2008).

Trinta 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 65°C por 72 horas (Silva e 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 (K_2O), em doses de 200 e 100 mg dm^{-3} , respectivamente, com as mesmas fontes já mencionadas.

No terceiro corte do capim-marandu, além dos mesmos procedimentos dos cortes anteriores, foram coletadas as massas de resíduo e raízes. A massa de resíduo é a massa vegetal presente abaixo da altura de corte. 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°C por 72 horas e, posteriormente, pesadas.

Para avaliar o custo da adubação fosfatada utilizou-se o preço médio dos fertilizantes fosfatados na região de Rondonópolis, no mês de outubro de 2013. Calculou-se o custo 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, resíduo 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 do modelo adequado 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 na massa seca de resíduo e custo da adubação fosfatada do capim-marandu.

Independente do período de crescimento, 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 do uso integral do 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 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.

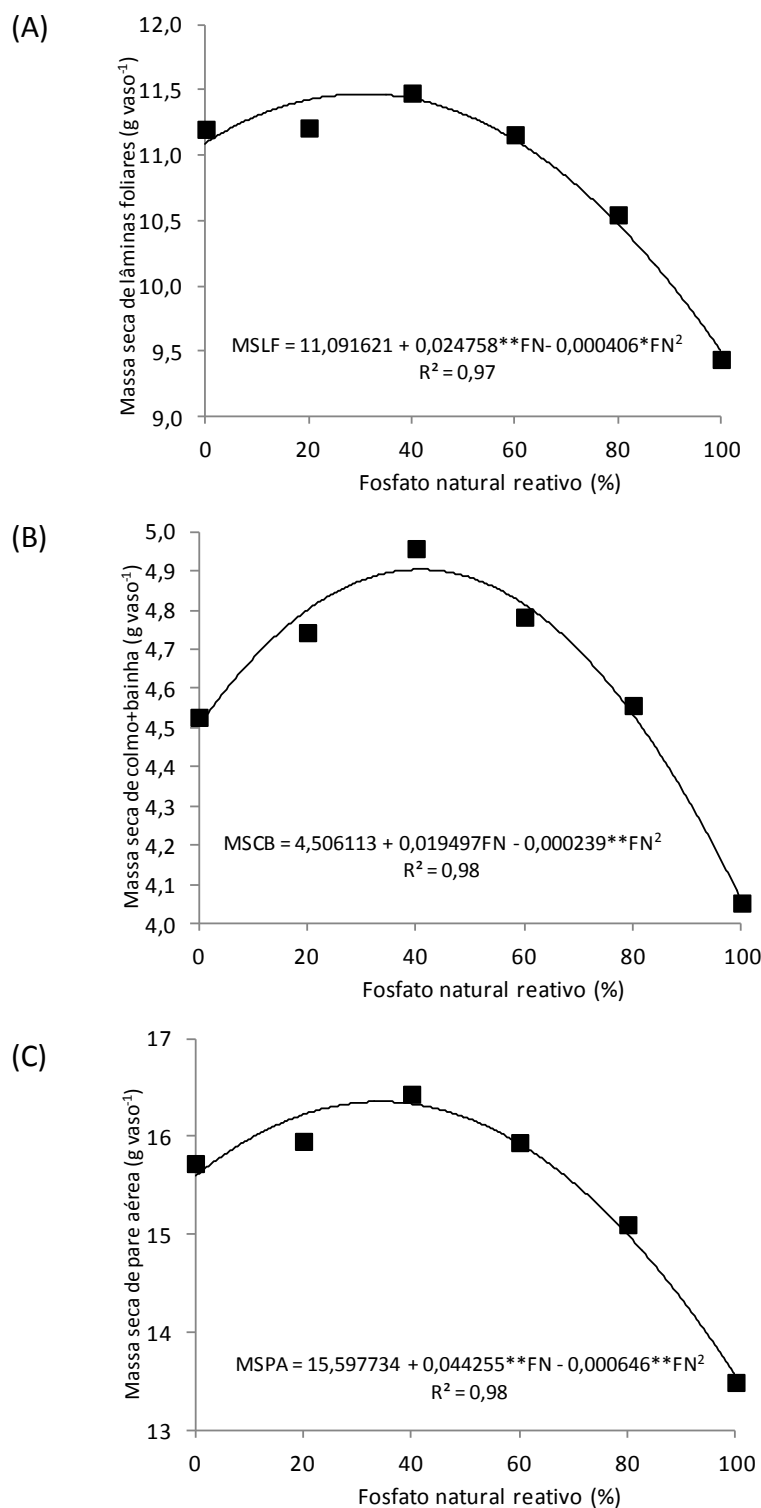


FIGURA 1. Estimativa da massa seca de lâminas foliares (A), colmo+bainha (B) e parte aérea (C) do capim-marandu submetido a níveis de substituição de superfosfato simples por fosfato natural reativo, independente do período de crescimento. **, *: significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente,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

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 g L^{-1}) e elevada concentração de fósforo solúvel (60 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).

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 e 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 maior número de folhas do capim-marandu ocorreu com a aplicação de 10% de fosfato natural reativo (Figura 2).

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^{-3}) e substituída gradativamente uma fonte solúvel de fósforo por uma fonte de baixa solubilidade.

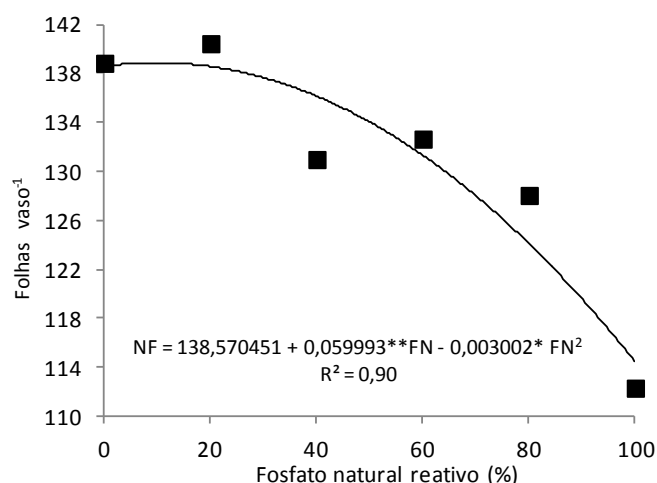


FIGURA 2. Estimativa do número de folhas do capim-marandu submetido a níveis de substituição de fonte solúvel de fósforo por fosfato natural reativo, independente do período de crescimento. **, * significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste t.

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 (Correa e Haag, 1993; Abreu e Monteiro, 1999; Bonfim-Silva et al., 2013). O primeiro crescimento de gramíneas forrageiras é mais lento, comparativamente a 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.

TABELA 2. Massa seca de lâminas foliares (MSLF), colmo+bainha (MSCB), parte aérea (MSPA) e número de folhas do capim-marandu em cada período de crescimento, independente da adubação fosfatada

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

Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. CV(%): coeficiente de variação

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 em 27% no número de perfilhos, em função do fosfato natural reativo ser um fertilizante cuja liberação do fósforo ocorre de maneira gradual. Mesmo com redução no número de perfilhos, no terceiro crescimento houve aumento na massa seca da parte aérea até o suprimento do fósforo em 34% por fosfato natural reativo e 66% de superfosfato simples (Figura 1C).

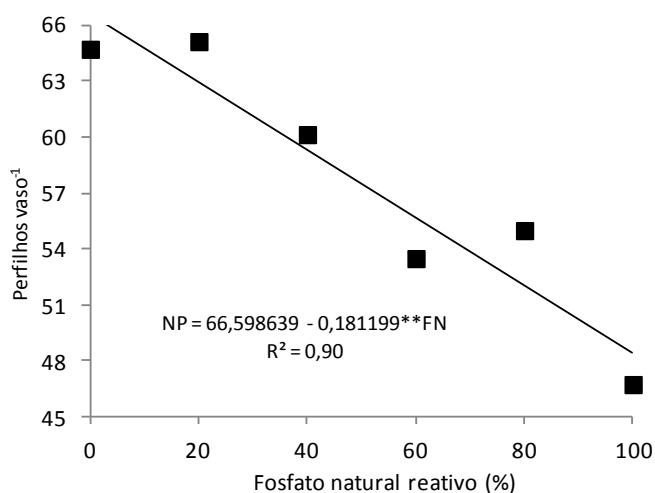


FIGURA 3. Estimativa do número de perfilhos do capim-marandu, no terceiro crescimento, submetido a níveis de substituição de fonte solúvel de fósforo por fosfato natural reativo. ** significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste t.

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.

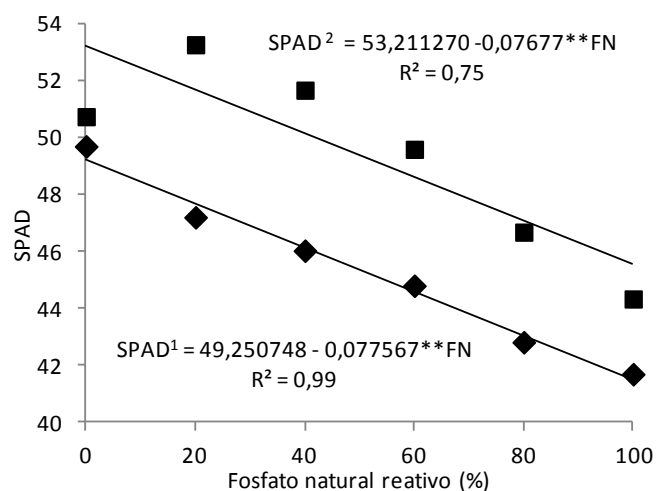


FIGURA 4. Estimativa do valor SPAD do capim marandu, no primeiro (¹) e segundo crescimento (²), submetido a níveis de substituição de fonte solúvel de fósforo por fosfato natural reativo. ** significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste t.

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 e produção (Tabela 2) 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.

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

Variáveis avaliadas	Nível de fósforo na forma de fosfato natural reativo					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
	Perfilhos vaso ⁻¹					
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	51,03 AB	47,02 A	42,86 A	44,34 B
3º crescimento	51,10 A	55,04 A	51,66 A	49,58 A	46,68 A	51,34 A
CV (%) = 9,05						

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Não se observou ajuste para massa seca de raízes do capim-marandu a nenhum modelo de regressão, com média de 11,28 g vaso⁻¹ (CV = 35,7%). Por outro

lado, a massa seca do resíduo do capim-marandu decresceu à medida que o superfosfato simples foi substituído por fosfato natural reativo (Figura 5). A massa seca de raízes e de resíduo 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). Além disso, o resíduo é a porção da forrageira que apresenta área foliar residual para realização da fotossíntese após o corte das plantas e gemas basais e laterais para o perfilhamento, e, portanto, importante para rebrota da gramínea forrageira.

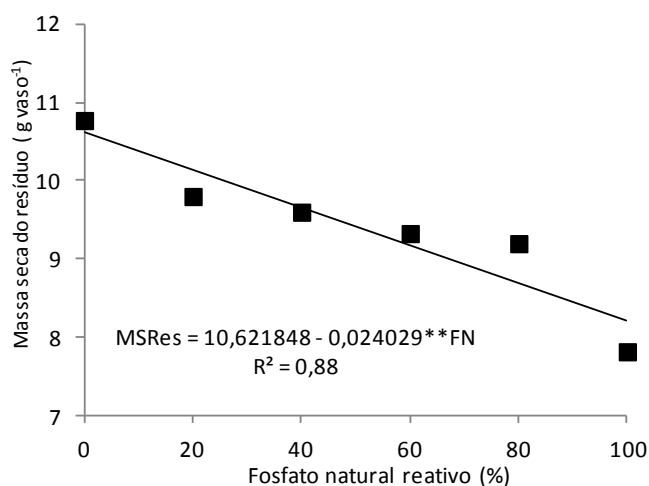


FIGURA 5. Massa seca do resíduo do capim-marandu submetido a níveis de substituição de superfosfato simples por fosfato natural reativo. ** significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste t.

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 6). 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 1C), o que aumenta o custo de cada quilo de massa seca produzida.

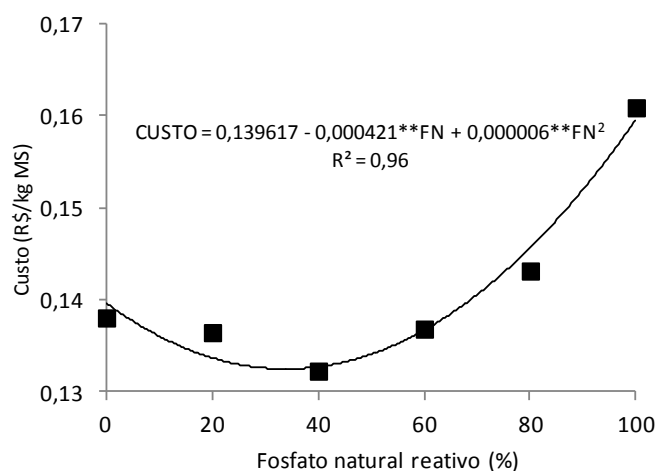


FIGURA 6. Custo da adubação fosfatada do capim-marandu submetido a níveis de substituição de superfosfato simples por fosfato natural reativo. ** significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste t.

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 6). 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.

CONCLUSÕES

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.

O valor SPAD e o número de perfilhos reduzem à medida que se aumenta a proporção de fosfato natural reativo na adubação do capim-marandu cultivado em Latossolo Vermelho argilo arenoso com baixo teor de fósforo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J. B. R.; MONTEIRO, F. A. Produção e nutrição do capim-marandu em função de adubação nitrogenada e estádios de crescimento. *Boletim de Indústria Animal*, v. 56, n. 2, p.137-146, 1999.

ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 6, p. 985-1002, 2003.

BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. 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*, v.37, n.7, p.1151-1160, 2008.

BLOOM, A. J., SUKRAPANNA, S. S., WARNER, R. L. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. *Plant Physiology*, v. 99, n. 4, p. 1294-1301, 1992.

BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A. Nitrogênio e enxofre na adubação e em folhas diagnósticas e raízes do capim-braquiária em degradação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, n.8, p. 1641-1649, 2010.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE D.; Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. *Revista Caatinga*, v. 24, n. 2, p. 180-186, 2011.

BONFIM-SILVA, E. M.; SANTOS, C. C.; FARIAS, L. N.; VILARINHO, M. K. C.; GUIMARÃES, S. L.; SILVA, T. J. A. Características morfológicas e produtivas do capim-marandu adubado com fosfato natural reativo em solo de cerrado. *Revista Agroambiente*, v. 6, n. 2, p. 166-171, 2012

BONFIM-SILVA, E. M.; CABRAL, C. E. A.; SILVA, T. J. A.; MOREIRA, J. C. F.; CARVALHO, J. C. S. Cinza vegetal: características produtivas e teor de clorofila do capim-marandu. *Bioscience Journal*, v. 29, n. 5, p. 1214-1224, 2013.

CABRAL, C. E. A.; ABREU, J. G.; BONFIM-SILVA, E. M.; CABRAL, C. H. A.; SCARAMUZZA, J. F.; SILVA, T. J. A. Eficiência de produção e concentração de nitrogênio nos capins marandu, decumbens e convert submetidos à adubação nitrogenada. *Bioscience Journal*, v. 29, supl. 1, p. 1653-1663, 2013.

- CANTARUTTI, R. B.; MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, M. M.; FONSECA, D. M.; ARRUDA, A. L.; VILELA, H.; OLIVEIRA, F. T. T. Pastagens. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. ALVAREZ V., V. H. (Eds). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.43-60.
- CECATO, U.; CANO, C. C. P.; BORTOLO, M.; HERLING, V. R.; CANTO, M. W.; CASTRO, C. R. C.; Teores de carboidratos não-estruturais, nitrogênio total e peso de raízes em Coastcross -1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) pastejado por ovinos. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 30, n. 3, p. 644-650, 2001.
- CECATO, U.; SKROBOT, V. D.; FAKIR, G. B.; BRANCO, A. F.; GALBEIRO, S.; GOMES, J. A. N. Perfilhamento e características estruturais do capim-Mombaça, adubado com fontes de fósforo, em pastejo. Acta Scientiarum. Animal Science, v. 30, n. 1, p. 1-7, 2008.
- CORRÊA, L. A.; HAAG, H. P. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras em Latossolo Vermelho Amarelo, álico: I. Experimento de casa-de-vegetação. Scientia Agrícola, v. 50, n. 1, p. 109-116, 1993.
- COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P.; RODRIGUES, C.; SEVERIANO, E. C. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I - Alterações nas características químicas do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 4, 1591-2599, 2008a.
- COSTA, S. E. V. G. A.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; SILVA, T. O.; SILVA, T. R. Crescimento e nutrição da braquiária em função de fontes de fósforo. Ciência e Agrotecnologia, v. 32, n. 5, p. 1419-1427, 2008b.
- COUTO, W. S.; TEIXEIRA NETO, J. F.; VEIGA, J. B.; SIMÃO NETO, M. Utilização de dois fontes de fosfato no estabelecimento de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Pasturas Tropicais, v. 17, n. 2, p. 25-28, 1995.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Manual de métodos de análises de solo. Centro Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1997. 212p.
- FRANZINI, V. I.; MURAOKA, T.; CORASPE-LEON, H. M.; MENDES, F. L. Eficiência de fosfato natural reativo aplicado em misturas com superfosfato triplo em milho e soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 44, n. 9, p. 1092-1099, 2009.
- FREIRE, F. M.; FONSECA, D. M.; CANTARUTTI, R. B. Manejo da fertilidade do solo em pastagens. Informe Agropecuário, v. 26, n. 226, p. 44-53, 2005.
- IERI, A. Y.; LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na recuperação de pastagem com *Brachiaria*. Ciência e Agrotecnologia, v. 34, n. 5, p. 1154-1160, 2010.
- KER, J. C. Latossolo do Brasil: uma revisão. Genomos, v. 5, n. 1, p. 17-40, 1997.
- LIMA, S. O.; FIDELIS, R. R.; COSTA, S. J. Avaliação de fontes e doses de fósforo no estabelecimento de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu no sul do Tocantins. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 37, n. 2, p. 100-105, 2007a.
- LIMA, E. V.; SILVA, T. R. B. da; SORATTO, R. P. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com o N total na folha de painço (*Panicum miliaceum* L.) em função da adubação nitrogenada de cobertura. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, v. 6, n. 2, p. 149-158, 2007b.

LUCHINI, I.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; SANTOS, D. H. Fósforo disponível em solos ácidos e corrigidos com aplicação de fosfatos solúvel, reativo e natural. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 11, n. 1, p. 82-94, 2012.

MACIEL, G. A.; COSTA, S. E. G. V. A.; FURTINI NETO, A. E.; FERREIRA, M. M.; EVANGELISTA, A. R. Efeito de diferentes fontes de fósforo na *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada em dois tipos de solos. *Ciência Animal Brasileira*, v. 8, n. 2, p. 227-233, 2007.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E.; ANDRADE, B. B.; LANA, R. M. Q.; KORNDORFER, G. H. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. *Bioscience Journal*, v. 27, n. 1, p. 70-76, 2011.

MOTTA, P. E. F.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; VAN RAIJ, B. FURTINI NETO, A. E.; LIMA, J. M. Adsorção e formas de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n. 2, p. 349-359, 2002.

NASCIMENTO, J. L.; ALMEIDA, R. A.; SILVA, R. S. M.; MAGALHÃES, L. A. F. Níveis de calagem e fontes de fósforo na produção do capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 32, n. 1, p. 7-11, 2002.

OLIVEIRA, O. P.; COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; MACIEL, G. A.; NEVES, B. P.; MACHADO, E. L. Efeitos de fontes de cálcio no desenvolvimento de gramíneas solteiras e consorciadas. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 33, n. 2, p. 592-598, 2009.

OLIVEIRA, P. S. R.; DEMINICIS, B. B.; CASTAGNARA, D. D.; GOMES, F. C. N. 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.

PARSONS, A.J.; LEAFE, E.L.; COLLET, B.; PENNING, P. D.; LEWIS, J. The physiology of grass production under grazing. I. Characteristics of leaf and canopy photosynthesis of continuously-grazed swards. *Journal of Applied Ecology*, v. 20, n. 1, p.117-126, 1983.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C. R.; SILVA, C. A. Efeito residual das aplicações de fontes de fósforo em gramíneas forrageiras sobre o cultivo sucessivo da soja em vasos; *Bragantia*, v. 69, n. 1, p. 149-155. 2010.

SANTOS, V. R.; MOURA-FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W.; COSTA, J. P. V.; SANTOS, C. G.; SANTOS, A. C. I. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009.

SANTOS, H. C.; OLIVEIRA, F. H. T.; SALCEDO, I. H.; SOUZA, A. P.; SILVA, V. D. M. Kinetics of phosphorus sorption in soils in the state of Paraíba. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 4, p.1301-1310, 2011.

SANTOS, M.E.R.; FONSECA, D.M.; GOMES, V.M.; SILVA, S.P.; PIMENTEL, R.M. Morfologia de perfilhos basais e aéreos em pasto de *Brachiaria decumbens* manejado em lotação contínua. *Enciclopédia Biosfera*, v. 6, n. 9, p. 1-9. 2010.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3. ed. Viçosa: UFV, 2002. 235p.

SILVEIRA, C. P.; MONTEIRO, F. A. Macronutrientes em folhas diagnósticas do capim-tanzânia adubado com nitrogênio e cálcio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 4, 736-745, 2010.

SOUSA, R. A.; SILVA, T. R. B. Acidificação de um Latossolo Vermelho Distroférico em função da aplicação de nitrogênio oriundo de ureia, sulfato de amônio e sulfammo. *Cultivando o Saber*, v. 2, n. 3, p. 78-83, 2009.

VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G. Calagem e adubação para pastagens. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2004. p. 367-382.

4 FERTILIZANTES NITROGENADOS ASSOCIADOS AO FOSFATO NATURAL REATIVO NO CULTIVO DO CAPIM-MARANDU

RESUMO – O fosfato natural reativo e a ureia são fertilizantes que reduzem o custo da adubação de pastagens. Contudo, a ureia não proporciona acidez do solo suficiente para o uso do fosfato natural reativo, e, portanto, o uso conjugado da ureia com sulfato de amônio pode favorecer a solubilização desse fertilizante fosfatado. Assim, objetivou-se identificar uma proporção de ureia e sulfato de amônio associados ao fosfato natural reativo que maximize a produção do capim-marandu em Latossolo Vermelho de classe textural argila arenosa com baixo teor de fósforo. O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal do Mato Grosso. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas no tempo com sete repetições. As parcelas consistiram em seis níveis de substituição de ureia por sulfato de amônio: 0, 20, 40, 60, 80 e 100%. As subparcelas consistiram em três períodos de crescimento, sendo o primeiro 30 dias após a emergência e os demais foram espaçados em 20 dias após a avaliação anterior. Cada unidade experimental foi constituída de um vaso com capacidade de 5 dm³ contendo cinco plantas e adubadas com fósforo (P₂O₅) na dose de 300 mg dm⁻³. As variáveis avaliadas foram: número de perfilhos, valor SPAD, massa seca da parte aérea, lâminas foliares, colmo+bainha e a relação entre o custo da adubação nitrogenada e a massa seca da parte aérea. No primeiro crescimento, a máxima produção do capim-marandu adubado com fosfato natural reativo ocorre quando o nitrogênio é suprido totalmente por sulfato de amônio.

Palavras-chave: *Brachiaria brizantha*, fósforo, Latossolo, sulfato de amônio, ureia.

NITROGEN FERTILIZERS ASSOCIATED WITH ROCK PHOSPHATE IN GROWTH PALISADEGRASS

ABSTRACT – Rock phosphate and urea are fertilizers that reduce cost of pasture fertilization. But urea does not provide sufficient acidity to use rock phosphate in soil and therefore use urea associated with ammonium sulfate can promote solubilization phosphate fertilizer. Thus, this study aimed to identify a proportion of urea and ammonium sulfate associated with phosphate rock to maximize the production of palisadegrass in Oxisol sandy clay with low phosphorus. The experiment was conducted in a greenhouse at Universidade Federal do Mato Grosso. Experimental design was completely randomized in split plot in time with seven replications. The main plots consisted of six levels of substitution of urea for ammonium sulfate: 0, 20, 40, 60, 80 and 100%. Split plot consisted of three periods of growth, with the first 30 days after plants emergence and the others were spaced 20 days after the previous evaluation. Each experimental unit consisted in pot with capacity of 5 dm³ containing five plants and fertilized with phosphorus (P₂O₅) in dose 300 mg dm⁻³. Variables evaluated were: shoot dry mass, leaf blade, stem, number of tillers, SPAD value and the relation between the cost of nitrogen fertilization and shoot dry mass. In first growth, palisadegrass maximum production fertilized with rock phosphate occurs when nitrogen is supplied totally with ammonium sulfate.

KEYWORDS: *Brachiaria brizantha*, phosphorus, Oxisol, ammonium sulfate, urea.

INTRODUÇÃO

O fósforo é um nutriente limitante na implantação de gramíneas forrageiras (Monteiro et al., 1995; Mesquita et al., 2004; Cecato et al., 2008) e relevante no restabelecimento radicular de gramíneas degradadas (Guedes et al., 2009). Para o suprimento de fósforo em pastagens implantadas no Brasil Central, onde há predomínio de Latossolos, a utilização de fontes solúveis é vantajosa pela disponibilidade instantânea desse nutriente. Contudo, esses fertilizantes apresentam custo elevado devido ao processo de industrialização, além de que parte do fósforo nestas fontes está sujeita à fixação pelo longo contato com o solo, o que novamente reduz a disponibilidade às plantas (Lima et al., 2007).

Dessa forma, uma alternativa tem sido a utilização de fontes fosfatadas menos solúveis, tais como os fosfatos naturais reativos. Esses fertilizantes fosfatados podem minimizar a fixação de fósforo em solos intemperizados, além de reduzir o custo da adubação. A liberação gradual do fósforo proveniente do fosfato natural reativo é dependente da acidez do solo, o que tem causado restrição no uso desses fertilizantes em solos pobres em fósforo, após a calagem. Uma alternativa tem sido a aplicação do fosfato natural antes da calagem, contudo tem-se observado a fixação do fósforo solubilizado, pois o nutriente um longo período de contato com o solo (Kaminski e Melo, 1984).

A adubação nitrogenada pode ser um recurso que permita o uso de fosfato natural reativo após a calagem, tendo em vista que o processo de nitrificação acarreta na redução natural do pH do solo. O nitrogênio é o nutriente mais requerido na adubação de manutenção de gramíneas forrageiras, o que pode viabilizar o uso de fosfato natural reativo na adubação dessas culturas.

Dentre os fertilizantes nitrogenados, o sulfato de amônio resulta em maior acidificação do solo, comparativamente a ureia (Costa et al., 2008; Sousa e Silva, 2009; Delbem et al., 2011), além de reduzir as perdas de nitrogênio por volatilização (Vitti et al., 2002). Contudo, o uso de sulfato de amônio aumenta o custo da adubação, o que pode limitar a sua adoção pelos pecuaristas.

Dessa forma, a substituição parcial de ureia por sulfato de amônio pode viabilizar o uso de fosfato natural reativo na adubação de gramíneas forrageiras, tanto por atenuar a queda no pH do solo, quanto manter o custo de produção acessível, tendo em vista que a ureia é o fertilizante nitrogenado de menor custo. Assim, objetivou-se identificar uma proporção de ureia e sulfato de amônio associados ao fosfato natural reativo que maximize a produção do capim-marandu em Latossolo Vermelho argilo arenoso com baixo teor de fósforo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, da Universidade Federal de Mato Grosso, *Campus* Universitário de Rondonópolis. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, com sete repetições e em esquema de parcelas subdivididas no tempo. As parcelas consistiram em seis níveis de substituição de ureia por sulfato de amônio: 0, 20, 40, 60, 80 e 100%. As subparcelas consistiram na avaliação de três períodos de crescimento, sendo o primeiro período avaliado 30 dias após a emergência do capim-marandu, e os demais períodos avaliados 20 dias após a avaliação anterior. As composições dos fertilizantes utilizados foram: fosfato natural reativo (29% P₂O₅; 32% Ca), superfosfato simples (20% P₂O₅, 17% Ca, 11% S), ureia (46%N), sulfato de amônio (21% N, 24 %S) e cloreto de potássio (58% K₂O). O fosfato natural reativo apresentava 14% de fósforo solúvel em ácido cítrico.

Cada unidade experimental foi constituída de um vaso com capacidade de 5,0 dm³ contendo cinco plantas. 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.

TABELA 1. Caracterização química e granulométrica, com respectiva interpretação, de Latossolo Vermelho argilo arenoso proveniente de Cerrado nativo

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H	CTC	V	m	Areia	Silte	Argila
CaCl ₂	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³				%		g kg ⁻¹			
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	-	-	-

Interpretação da análise: MB - muito baixo; B - baixo; M - médio; A - alto (Cantarutti et al., 1999).

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.

Após o período de incubação do solo com calcário para correção da acidez do solo foi feita a adubação de implantação, que consistiu na aplicação de fósforo e micronutrientes. A dose de fósforo (P₂O₅) aplicada foi de 300 mg dm⁻³ utilizando fosfato natural reativo. 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 mg dm⁻³, respectivamente (Bonfim-Silva e Monteiro, 2010).

Depois da adubação de implantação realizou-se a semeadura do capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), com 25 sementes por vaso. 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, nas doses de 200 e 100 mg dm⁻³, sendo o nitrogênio fornecido conforme os tratamentos e o potássio na forma de cloreto de potássio. No primeiro crescimento a adubação com nitrogênio e potássio (K₂O) foi parcelada em quatro aplicações iguais para evitar uma pressão osmótica elevada, referenciada por Batista e Monteiro (2008).

Trinta dias após a semeadura 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 65°C por 72 horas (Silva e Queiroz, 2002), e posteriormente pesadas. Além disso, foram retiradas amostras de solos para a determinação do pH em cloreto de cálcio, conforme descrito em EMBRAPA (1997). Todo o procedimento de leitura SPAD, contagem de folhas e perfilhos, corte das plantas e coleta de solo 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 mg dm⁻³, respectivamente, com as mesmas fontes já mencionadas.

Para avaliar o custo da adubação nitrogenada utilizou-se o preço médio dos fertilizantes nitrogenados na região de Rondonópolis, no período de outubro de 2013. Dividiu-se custo da adubação nitrogenada para cada tratamento pela somatória da massa seca da parte aérea de cada crescimento com o intuito de quantificar o preço da adubação para cada quilo de massa seca produzida.

As variáveis avaliadas foram: pH do solo, massa seca da parte aérea, lâminas foliares, colmo+bainha, número de perfilhos, valor SPAD e custo da adubação nitrogenada. 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 do modelo adequado 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

Observou-se interação ($p < 0,05$) entre os níveis de substituição de ureia por sulfato de amônio e os períodos de crescimento em todas as variáveis avaliadas, exceto para o número de perfilhos, em que houve efeito isolado desses fatores.

Independente do período de crescimento evidenciou-se que o número de perfilhos do capim-marandu foi descrito por um modelo linear crescente (Figura 1) quando o nitrogênio foi substituído gradativamente de ureia por sulfato de amônio.

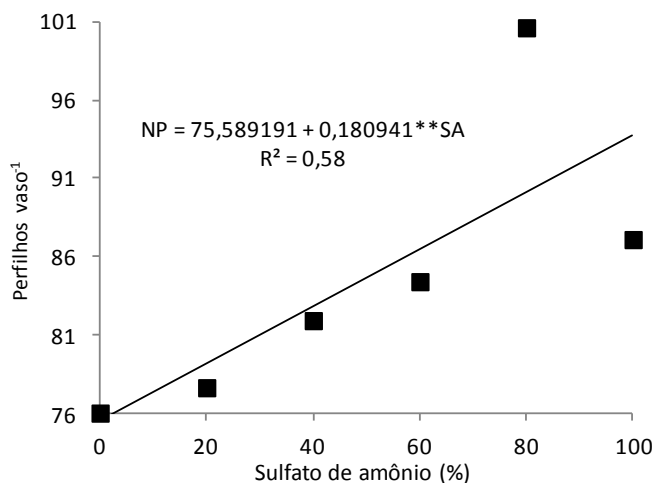


FIGURA 1. Estimativa do número de perfilhos do capim-marandu submetido a níveis de substituição de ureia por sulfato de amônio, independente dos períodos de crescimento. ** significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste t.

Com o suprimento de sulfato de amônio, ocorre adição de enxofre, e esse nutriente influencia no perfilhamento de gramíneas forrageiras, observando-se efeito na rebrota de capim-marandu (Batista e Monteiro, 2006). Além disso, o sulfato de amônio acidifica o solo (Costa et al., 2008), o que estimula a solubilização do fosfato

natural reativo, e dessa forma, observa-se que o fósforo também influencia a emissão de perfilhos de gramíneas forrageiras (Patês et al., 2007; Lopes et al., 2011). O perfilhamento é relevante, uma vez que a emissão de folhas e perfilhos que garante a perenidade da gramínea forrageira.

O pH do solo, nos três crescimentos do capim-marandú, foi descrito por um modelo linear decrescente (Figura 2), o que indica que o aumento do sulfato de amônio no solo acarreta em maior acidificação do solo, comparativamente a ureia. A ureia, após a ação da urease, tem como um dos produtos a amônia (NH_3), e esta se associa a hidrogênios do solo no processo de redução a amônio (NH_4^+), gerando assim um aumento momentâneo do pH do solo. Kiehl (1989) verificou incremento no pH do solo após a aplicação da ureia de 4,8 a 6,6 e de 6,0 a 7,1 em Neossolo e Nitossolo, respectivamente.

Além disso, a ureia é um fertilizante nitrogenado que está sujeito à perda de amônia (NH_3) por volatilização, que acarreta em quantidades menores de amônio (NH_4^+) disponível para nitrificação, processo que libera hidrogênios, acarretando na acidificação do solo (Barbosa Filho et al., 2005). Em vários trabalhos observa-se que a ureia propicia menor acidificação do que o sulfato de amônio (Costa et al., 2008; Sangoi et al. 2009; Sousa e Silva, 2009).

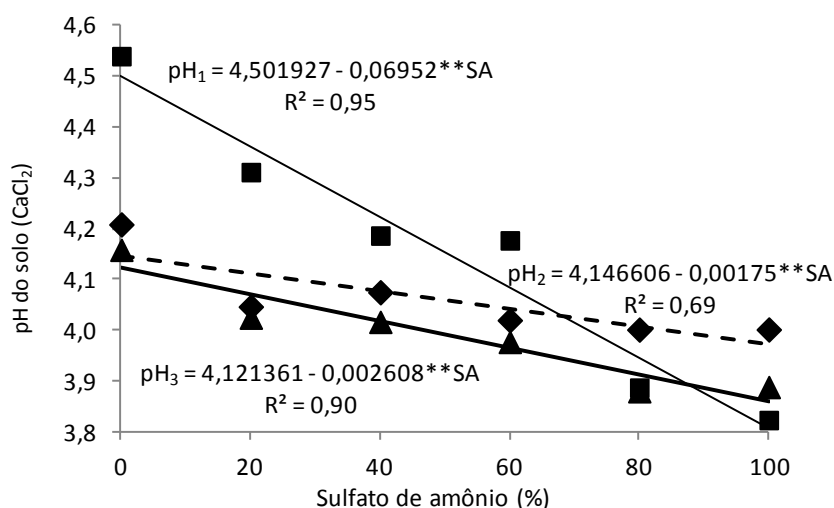


FIGURA 2. Estimativa da acidez ativa (pH) do solo no primeiro (pH₁), segundo (pH₂) e terceiro (pH₃) crescimento do capim-marandú submetido a níveis de substituição de ureia por sulfato de amônio. ** significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste t.

No primeiro crescimento, o coeficiente angular da equação de pH do solo foi maior do que os coeficientes do segundo e terceiro crescimento, o que indica que no estabelecimento do capim houve maior queda no pH com o incremento de sulfato de amônio (Figura 2). A alteração no pH do solo influencia a solubilização do fosfato natural reativo, tendo em vista que esse fertilizante reage com prótons (H^+) para a liberação do íon fosfato que é absorvido pelas plantas (Kaleeswari e Subramanian, 2001).

Durante o primeiro crescimento do capim-marandu, a massa seca de lâminas foliares, colmo+bainha a parte aérea foi diretamente proporcional ao incremento de sulfato de amônio na adubação nitrogenada (Figura 3). O aumento de sulfato de amônio na adubação do capim-marandu reduziu o pH do solo (Figura 2), e essa condição propicia a solubilização do fosfato natural reativo (Goedert et al., 1984). Evidencia-se que o pH do solo está associado a produção do capim-marandu, tendo em vista que houve correlação negativa significativa ($p < 0,01$) entre pH do solo e a massa seca de lâminas foliares ($r = -0,42$), colmo+bainha ($r = -0,39$) e parte aérea ($r = -0,44$). Resposta semelhante foi observada em estudo de solubilização de fosfato de Araxá, por meio do qual Souchie et al. (2007) observaram correlação negativa entre o pH e a solubilidade de fósforo.

No segundo e no terceiro crescimento do capim-marandu, a massa seca não se ajustou a nenhum modelo de regressão. No segundo crescimento a massa seca de lâminas foliares, colmo+bainha e parte aérea observada no capim-marandu foram de 10,1; 5,0 e 15,1 $g\ vaso^{-1}$, respectivamente. No terceiro crescimento a massa seca de lâminas foliares, colmo+bainha e parte aérea observada no capim-marandu foram de 14,8; 5,6 e 20,4 $g\ vaso^{-1}$, respectivamente.

Esperava-se que as proporções de ureia e sulfato de amônio tivessem efeito na produção do capim-marandu no segundo e terceiro crescimento, e não no primeiro, pois o nitrogênio é um nutriente mais requerido na rebrota de gramíneas forrageiras do que no estabelecimento (Cantarutti et al., 1999). Contudo, esses fertilizantes nitrogenados alteraram o pH do solo (Figura 2), e essa alteração na acidez ativa do solo influencia na solubilização do fosfato natural reativo (Guedes et al., 2002), que é uma fonte de fósforo. O fósforo é um nutriente de maior requerimento no primeiro crescimento de gramíneas forrageiras (Cantarutti et al., 1999), tendo em vista que seu papel principal está associado ao estabelecimento do sistema radicular. Por

isso, os fertilizantes nitrogenados tiveram efeito sobre o primeiro crescimento e não sobre a rebrota do capim-marandu.

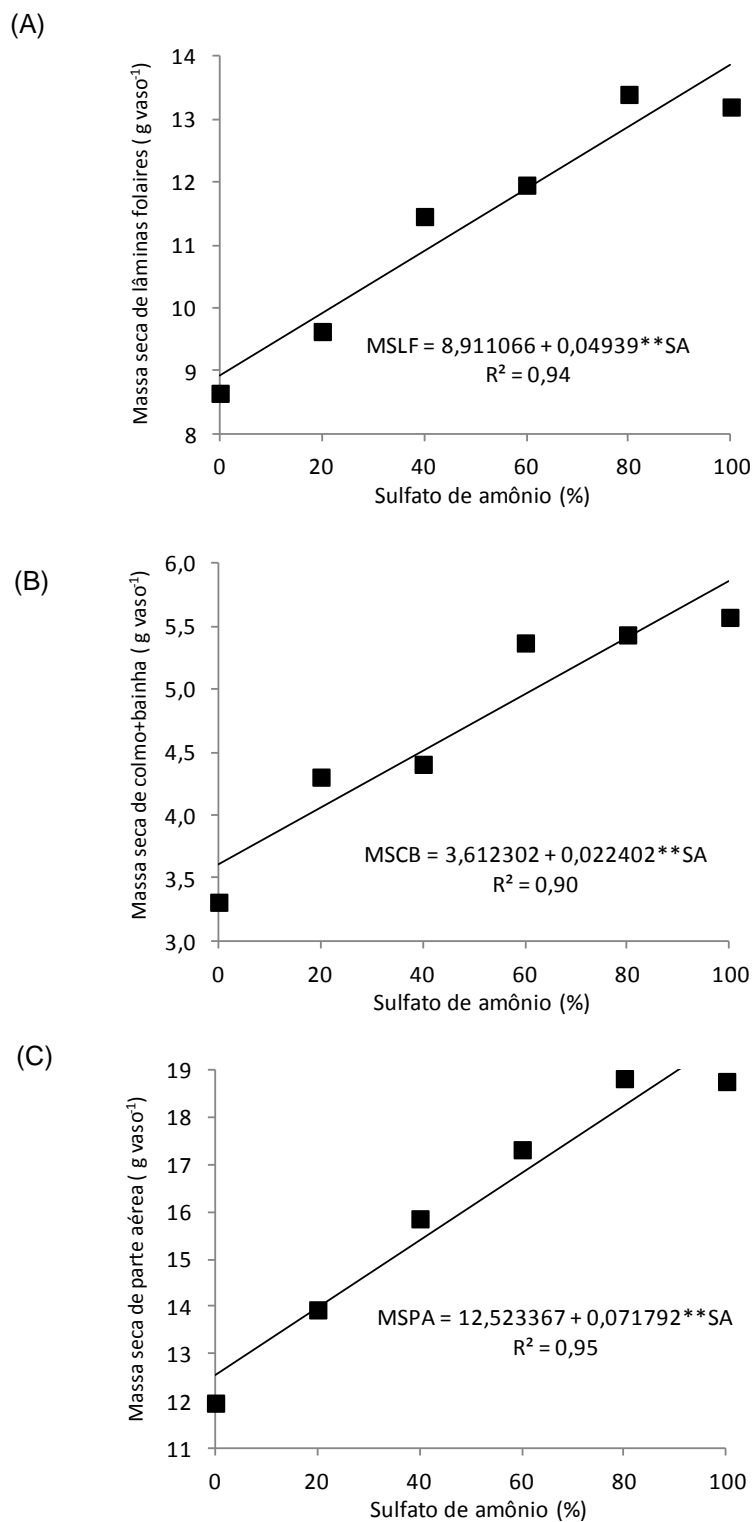


FIGURA 3. Estimativa da massa seca de lâminas foliares (A), colmo+bainha (B) e parte aérea (C), no primeiro crescimento, do capim-marandu submetido a níveis de substituição de ureia por sulfato de amônio. ** significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste t.

No primeiro crescimento do capim-marandu, à medida que se aumentou a proporção de sulfato de amônio na adubação do capim-marandu, reduziu o custo da adubação nitrogenada para cada quilo de massa seca produzida (Figura 4). Embora o sulfato de amônio seja um fertilizante de maior custo do que a ureia, com a sua adição na adubação do capim-marandu, o incremento na massa seca da parte aérea foi maior do que o incremento no custo, o que resultou em redução no custo por quilo de massa seca produzida. No segundo crescimento, o maior custo da adubação nitrogenada ocorre quando se utiliza 74% do nitrogênio na forma de sulfato de amônio (Figura 4) e o terceiro crescimento quanto maior a quantidade de sulfato de amônio utilizada, maior o custo de cada quilo de massa seca produzida (Figura 4).

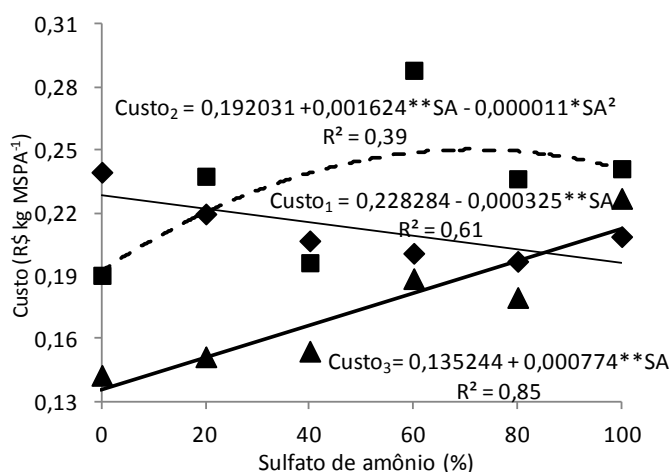


FIGURA 4. Estimativa do custo da adubação nitrogenada do capim-marandu no primeiro (custo₁), segundo (custo₂) e terceiro (custo₃) crescimentos, submetido a níveis de substituição de ureia por sulfato de amônio. **: * significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro pelo teste t, respectivamente.

O valor SPAD do capim-marandu, nos três crescimentos, foi descrito por modelo quadrático (Figura 5), sendo que a cada crescimento o maior valor SPAD foi obtido com menor proporção de sulfato de amônio. No primeiro, segundo e terceiro crescimento o nível de sulfato de amônio que propiciou maior índice SPAD no capim-marandu foi de 99,6; 57 e 41%, respectivamente. O valor SPAD estima o teor de clorofila nas plantas e possui correlação positiva com o teor de nitrogênio (Premazzi e Monteiro, 2002; Manarim e Monteiro, 2003), uma vez que de 50 a 70% do nitrogênio total das folhas serem integrantes de compostos associados aos cloroplastos e ao conteúdo da clorofila nas folhas (Chapman e Barreto, 1997).

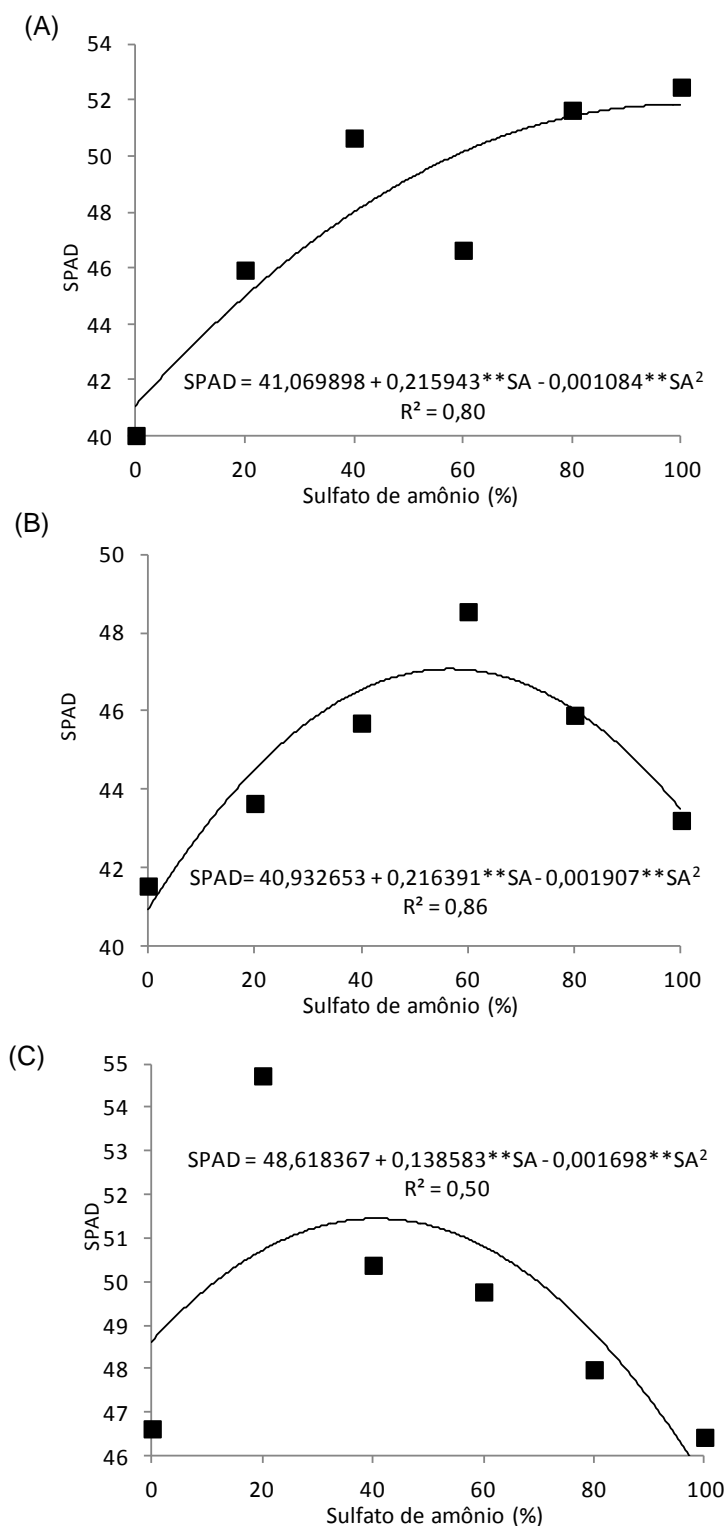


FIGURA 5. Estimativa do valor SPAD no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) crescimento do capim-marandu submetido a níveis de substituição de ureia por sulfato de amônio. ** significativo a 1% de probabilidade de erro.

A massa seca de lâminas foliares e da parte aérea do capim-marandu foi maior no terceiro crescimento na maior parte dos níveis de substituição de ureia por sulfato

de amônio (Tabela 2). Em rebrota, ocorre maior produção, comparativamente ao estabelecimento, tendo em vista que no primeiro crescimento há gasto energético para o desenvolvimento de raízes.

TABELA 2. Acidez ativa (pH) do solo, massa seca de lâminas foliares, colmo+bainha, parte aérea e valor SPAD do capim-marandu submetido a níveis de substituição de ureia por sulfato de amônio

Variáveis avaliadas	Nível de nitrogênio na forma de sulfato de amônio					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
pH do solo						
1º crescimento	4,54 A	4,31 A	4,19 A	4,18 A	3,89 A	3,82 A
2º crescimento	4,21 B	4,05 B	4,07 AB	4,02 B	4,00 A	4,00 A
3º crescimento	4,16 B	4,02 B	4,02 B	3,98 B	3,88 A	3,89 A
CV (%) = 2,47						
Massa seca de lâminas foliares (g vaso ⁻¹)						
1º crescimento	8,64 B	8,38 B	11,18 B	11,96 A	13,40 B	13,20 A
2º crescimento	9,88 B	9,63 B	11,46 B	8,27 B	11,84 B	11,48 A
3º crescimento	14,45 A	14,28 A	16,29 A	13,34 A	15,66 A	13,02 A
CV (%) = 14,67						
Massa seca de colmo+bainha (g vaso ⁻¹)						
1º crescimento	3,31 B	4,30 B	4,40 A	5,37 A	5,43 A	5,57 A
2º crescimento	5,08 A	4,38 B	5,75 A	3,89 A	5,37 A	5,43 A
3º crescimento	5,23 A	6,20 A	5,15 A	5,40 A	5,98 A	5,34 A
CV (%) = 23,40						
Massa seca de parte aérea (g vaso ⁻¹)						
1º crescimento	11,95 B	13,93 B	15,86 B	17,33 A	18,83 AB	18,77 A
2º crescimento	14,96 B	12,76 B	16,93 B	12,16 B	27,21 B	16,91 A
3º crescimento	19,68 A	20,47 A	21,44 A	18,74 A	21,64 A	18,36 A
CV (%) = 16,10						
SPAD						
1º crescimento	40,02 B	45,93 B	50,65 A	46,64 B	51,64 A	52,47 A
2º crescimento	41,54 B	43,65 B	45,70 B	48,54 AB	45,90 B	43,22 C
3º crescimento	43,63 A	54,73 A	50,38 A	49,77 A	47,98 B	46,43 B
CV (%) = 4,81						
Custo (R\$ kg MSPA ⁻¹)						
1º crescimento	0,23 A	0,22 A	0,21 A	0,20 B	0,20 AB	0,21 A
2º crescimento	0,19 B	0,24 A	0,20 AB	0,29 A	0,24 A	0,23 A
3º crescimento	0,14 C	0,15 B	0,15 B	0,19 B	0,18 B	0,24 A
CV (%) = 15,58						

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Houve acidificação do solo ao longo dos crescimentos, exceto para os níveis de 80 e 100% de sulfato de amônio. Nesses níveis, desde o primeiro crescimento, o pH do solo esteve abaixo de 4,0; o que demonstra o sulfato de amônio apresenta maior potencial acidificar o solo, comparativamente a ureia, o que já foi discutido anteriormente. Embora a acidez resultante da aplicação do sulfato de amônio potencialize a solubilização do fosfato natural reativo, será importante quantificar o inserir no custo de produção a necessidade de maiores doses de calcário na calagem de manutenção.

De acordo com Cabral et al. (2013), leituras SPAD em capim-marandu menores do que 26 indicam deficiência de nitrogênio, o que acarreta em clorose inicialmente nas folhas mais velhas e evolui para amarelecimento generalizado. Dessa forma, observa-se que independente da proporção entre ureia e sulfato de amônio, não se observou valor SPAD que indicasse deficiência de nitrogênio nas plantas (Tabela 2), essa proporção embora tenha influenciado na produção dessa gramínea forrageira (Figura 2).

CONCLUSÕES

No primeiro crescimento, a máxima massa seca produzida do capim-marandu adubado com fosfato natural reativo ocorre quando o nitrogênio é suprido totalmente com sulfato de amônio. O sulfato de amônio aumenta o perfilhamento do capim-marandu cultivado em Latossolo argilo arenoso com baixo teor de fósforo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. Fontes, doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura para feijoeiro comum irrigado. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 29, n. 1, p. 69-76, 2005.
- BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. Respostas morfológicas e produtivas do capim-marandu adubado com doses combinadas de nitrogênio e enxofre. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n.4, p.1281-1288, 2006.
- BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. 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*, v.37, n.7, p.1151-1160, 2008.
- BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A. Nitrogênio e enxofre na adubação e em folhas diagnósticas e raízes do capim-braquiária em degradação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, n.8, p. 1641-1649, 2010.
- BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE D.; Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. *Revista Caatinga*, v.24, n.2, p. 180-186, 2011.
- CABRAL, C. E. A.; ABREU, J. G.; BONFIM-SILVA, E. M.; CABRAL, C. H. A.; SCARAMUZZA, J. F.; SILVA, T. J. A. Eficiência de produção e concentração de nitrogênio nos capins marandu, decumbens e convert submetidos à adubação nitrogenada. *Bioscience Journal*, v. 29, supl. 1, p. 1653-1663, 2013.
- CANTARUTTI, R. B.; MARTINS, C. E., CARVALHO, M. M.; FONSECA, D. M.; ARRUDA, A. L.; VILELA, H.; OLIVEIRA, F. T. T. Pastagens. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. ALVAREZ V., V. H. (Eds). *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação*. Viçosa: CFSEMG, 1999. Cap. 18, p.43-60.
- CECATO, U.; SKROBOT, V. D.; FAKIR, G. M.; BRANCO, A. F.; GALBEIRO, S.; GOMES, J. A. N. Perfilhamento e características estruturais do capim-Mombaça, adubado com fontes de fósforo, em pastejo. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, v. 30, n. 1, p. 1-7, 2008.
- CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. *Agronomy Journal*, ev. 89, n. 4, p. 557-562, 1997.

- COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P.; RODRIGUES, C.; SEVERIANO, E. C. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I - Alterações nas características químicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 4, 1591-2599, 2008.
- DELBEM, F. C.; SCABORA, M. H.; SOARES FILHO, C. V.; HEINRICH, C.; CROCIOLLI, C. A.; CASSIOLATO, A. M. R. Fontes e doses de adubação nitrogenada na atividade microbiana e fertilidade do solo cultivado com *Brachiaria brizantha*. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 33, n. 2, p. 361-367, 2011.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Manual de métodos de análises de solo. Centro Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1997. 212p.
- GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.8, p.97-102, 1984.
- GUEDES, E. M.; FERNANDES, A. R.; LIMA, E. V.; GAMA, M. A. P.; SILVA, A. L. P. Fosfato natural de arad e calagem e o crescimento de *Brachiaria brizantha* em Latossolo Amarelo sob pastagem degradada na Amazônia. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 52, n. 1, p. 117-129, 2009.
- KALEESWARI, R. K.; SUBRAMANIAN, S. Chemical reactivity of phosphate rocks – A review. *Agricultural Reviews*, v. 22, n. 2, p. 121-126, 2001.
- KAMINSKI, J.; MELLO, F. A. F. Época de aplicação de fosfatos em relação ao calcário no suprimento de fósforo ao sorgo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 8, n. 3, p. 297-300, 1984.
- KIEHL, J. C. Distribuição e retenção da amônia no solo após a aplicação de ureia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 13, n. 1, p. 75-80, 1989.
- LIMA, S. O.; FIDELIS, R. R.; COSTA, S. J. Avaliação de fontes e doses de fósforo no estabelecimento de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu no sul do Tocantins. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 37, n. 2, p. 100-105, 2007.
- LOPES, J.; EVANGELISTA, A. R.; PINTO, J. C.; QUEIROZ, D. S.; MUNIZ, J. A. Doses de fósforo no estabelecimento de capim-xaraés e estilosantes Mineirão em consórcio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 12, p. 2658-2665, 2011.
- MANARIM, C. A.; MONTEIRO, F. A. Nitrogênio na produção e diagnose foliar do capim-mombaça. *Boletim de Indústria Animal*, v. 59, n. 2, p. 115-123, 2003.
- MESQUITA, E. E.; PINTO, J. C.; FURTINI NETO, A. E.; SANTOS, P. A.; TAVARES, V. B. Teores críticos de fósforo em três solos para o estabelecimento de capim-mombaça, capim-marandu e capim-andropogon em vasos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 33, n. 2, p. 290-301, 2004.
- MONTEIRO, F. A.; RAMOS, A. K. B.; CARVALHO, D. D.; ABREU, J. B. R.; DAIUB, J. A. S.; SILVA, J. E. P.; NATALE, W. Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. *Scientia Agrícola*, v. 52, n. 1, p. 135-141, 1995.
- PATÊS, N. M. S.; PIRES, A. J. V.; SILVA, C. C. F.; SANTOS, L. C.; CARVALHO, G. G. P.; FREIRE, M. A. L. Características morfogênicas e estruturais do capim-tanzânia submetido a doses de fósforo e nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 6, p. 1736-1741, 2007.

PREMAZZI, L. M.; MONTEIRO, F. A. Produção do capim-tifton 85 submetido a doses e épocas de aplicação de nitrogênio após o corte. Boletim de Indústria Animal, Nova Odessa, v. 59, n. 1, p. 1-16, 2002.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R. BIANCHET, O. Desenvolvimento inicial do milho em função de doses e fontes de nitrogênio aplicadas na semeadura. Biotemas, v. 22, n. 4, p. 53-58, 2009.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos. 3. ed. Viçosa: UFV, 2002. 235p.

SOUCHIE, E. L.; ABOUD, A. C. S.; CAPRONI, A. L. Solubilização de fosfato *in vitro* por microrganismos rizosféricos de guandu. Bioscience Journal, v. 23, n. 2, p. 53-60, 2007.

SOUSA, R. A.; SILVA, T. R. B. Acidificação de um Latossolo Vermelho Distroférico em função da aplicação de nitrogênio oriundo de ureia, sulfato de amônio e sulfammo. Cultivando o Saber, v. 2, n. 3, p. 78-83, 2009.

VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G. Calagem e adubação para pastagens. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2004. p. 367-382.

VITTI, G. C.; TAVARES JUNIOR, J. E.; LUZ, P. H. C.; FAVARIN, J. L.; COSTA, M. C. G. Influência da mistura de sulfato de amônio com ureia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, n. 3, p. 663-6731, 2002.