

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**FOSFATO DECANTADO E CALAGEM NO
PERFILHAMENTO E PRODUÇÃO DE MASSA SECA DO
CAPIM-MARANDU**

**Fábio Tiraboschi Leal
Engenheiro Agrônomo**

2015

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**FOSFATO DECANTADO E CALAGEM NO
PERFILHAMENTO E PRODUÇÃO DE MASSA SECA DO
CAPIM-MARANDU**

Fábio Tiraboschi Leal

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).**

2015

L436f Leal, Fábio Tiraboschi
Fosfato decantado e calagem no perfilhamento e produção de
massa seca do capim-marandu / Fábio Tiraboschi Leal. --
Jaboticabal, 2015
viii, 53 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Edson Luiz Mendes Coutinho
Banca examinadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz, Takashi
Muraoka
Bibliografia

1. *Brachiaria brizantha*. 2. Fósforo. 3. Nível crítico. 4. pH. 5.
Superfosfato triplo. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.81:633.2



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: FOSFATO DECANTADO E CALAGEM NO PERFILHAMENTO E PRODUÇÃO DE MASSA SECA DO CAPIM-MARANDU

AUTOR: FÁBIO TIRABOSCHI LEAL

ORIENTADOR: Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. TAKASHI MURAOKA
Universidade de São Paulo / Piracicaba/SP

Data da realização: 24 de junho de 2015.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

FÁBIO TIRABOSCHI LEAL, nascido em 27 de outubro de 1989, em Ribeirão Preto – SP, é Engenheiro Agrônomo formado em fevereiro de 2013 pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP (Câmpus de Jaboticabal). Trabalhou, neste período, com emissão de CO₂ do solo (respiração do solo) e método de quantificação indireta (susceptibilidade magnética), sendo bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) de 2010 a 2011 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) de 2011 a 2012. Em março de 2013, ingressou no mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP (Câmpus de Jaboticabal) sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Obteve o título de Mestre em junho de 2015.

“A ciência moderna realmente deve estimular em todos nós uma humildade perante a imensidão do inexplorado e a tolerância por hipóteses malucas.”

(Martin Gardner)

À minha família pelo carinho, orientação e suporte nos momentos difíceis e, que sem dúvida, tem grande contribuição neste trabalho, em especial aos meus pais Luiz Carlos Leal e Rosângela Tiraboschi Leal, que nunca mediram esforços para a minha educação e meus sonhos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus que me faz acreditar que nunca se deve perder a fé na vida, já que sempre há algo melhor por vir, mesmo que não seja pelo trajeto e no tempo que nós queremos.

Ao Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho pela paciência, orientação e ensinamentos durante a realização deste trabalho, mas acima de tudo por ser meu amigo.

À minha namorada Ana Beatriz pelo amor, companheirismo, ajuda nos momentos mais difíceis e pelo exemplo de luta e perseverança.

Ao meu irmão, amigo e engenheiro agrônomo José Eduardo Tiraboschi Leal que sempre foi meu exemplo de vida, me ensinando valores dentro e fora da Universidade.

À minha avó Rosa pelo exemplo de bondade, generosidade e fraternidade.

Aos meus professores das disciplinas cursadas durante o mestrado: Edson Luiz Mendes Coutinho, Itamar Andrioli, Célia Regina Paes Bueno, José Carlos Barbosa, Pedro Luís da Costa Alves, Renato de Mello Prado e William Natale.

Aos funcionários dos Departamentos de Solos e Adubos, em especial a Claudia Campos Della Marta Cirilo, por toda dedicação e ajuda em todos esses anos.

Ao meu melhor amigo Arthur Perussi e sua família pelo companheirismo, momentos alegres e ajuda nos momentos difíceis.

Aos meus amigos de Pós-graduação Edwin Antonio Gutierrez Rodriguez, Gabriel Barbosa Júnior e Wallace Leite pela amizade, convivência e apoio durante esses anos.

A CAPES pela bolsa concedida.

Finalmente, a todos que, de maneira direta ou indireta contribuíram para realização deste trabalho

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. O fósforo e a produção do gênero <i>Brachiaria</i>	3
2.2. A calagem e a disponibilidade de fósforo.....	5
2.3. Nível crítico de fósforo no solo e na planta.....	9
2.4. O fosfato decantado na agricultura.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1. No solo.....	15
4.2. Na parte aérea do capim-marandu.....	25
4.3. No perfilhamento e na produção de massa seca da parte aérea.....	32
5. CONCLUSÕES	44
6. REFERÊNCIAS	45

FOSFATO DECANTADO E CALAGEM NO PERFILAMENTO E PRODUÇÃO DE MASSA SECA DO CAPIM-MARANDU

RESUMO - O fosfato decantado (FD), subproduto resultante do tratamento de efluentes da produção de ácido fosfórico (H_3PO_4), é considerado um passivo ambiental podendo acarretar obrigações econômicas aos fabricantes de fertilizantes fosfatados. Nesse sentido, conduziu-se esse experimento em casa de vegetação utilizando-se vasos preenchidos com amostras de um Latossolo Vermelho distrófico textura média (LVd) com objetivo principal de avaliar os efeitos do FD no perfilamento e na produção de massa seca da parte aérea do capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) por três crescimentos consecutivos, na presença e ausência de calcário. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com três repetições, obedecendo a um esquema fatorial $6 \times 2 \times 2$ [seis doses de P; duas fontes de P; presença (C/C) e ausência de calcário (S/C)]. As doses de P foram 0, 30, 60, 90, 120 e 150 mg kg⁻¹ de P. As fontes de P foram o FD e o superfosfato triplo (ST) (fonte de referência). O calcário foi aplicado ao solo em quantidade calculada a fim de elevar a saturação por bases do solo a 60%. Verificou-se que a adubação fosfatada promoveu incrementos significativos na produção de perfilhos e de massa seca da parte aérea do capim-marandu, sendo que o FD não diferiu significativamente do ST na ausência de calcário, porém foi significativamente inferior na presença desse corretivo. O fornecimento de P ao solo pelo FD foi favorecida pela acidez do solo que foi aumentada com o decorrer do experimento. Os níveis críticos de P no solo e na parte aérea do capim-marandu foram 15 mg dm⁻³ e 1,2 g kg⁻¹, respectivamente.

Palavras-chaves: *Brachiaria brizantha*, fósforo, nível crítico, pH, superfosfato triplo

DECANTED PHOSPHATE AND LIMING ON TILLERING AND DRY MATTER PRODUCTION OF MARANDU GRASS

ABSTRACT - The decanted phosphate (DF), by-product of wastewater treatment of phosphoric acid production (H_3PO_4), is considered an environmental liability and resulting economic obligations to the phosphate fertilizer manufacturers. In this sense, this experiment was conducted in a greenhouse using pots filled with samples of a sandy clay loam Typic Haplustox with main objective to evaluate the effects of DF at tillering and shoot dry matter production of marandu grass (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) during three consecutive growths in the presence and absence of lime. The experiment was conducted in a completely randomized experimental design with three replications, according to a factorial 6 x 2 x 2 [six rates of P; two sources of P; presence (P/L) and absence of lime (A/L)]. The rates of P were 0, 30, 60, 90, 120 and 150 mg kg⁻¹ of P. The sources of P were the DF and triple superphosphate (TS) (reference source). Lime was applied to the soil in an amount calculated to raise the soil base saturation to 60%. It was found that the phosphate fertilization caused a significant increase in tillers number and shoot dry matter of marandu grass, and the DF did not differ significantly from the TS in the absence of lime, but was significantly lower in the presence of this correction. P supply to the soil by FD was favored by soil acidity which was increased in the course of the experiment The critical levels of P in soil and the marandu grass shoot were 15 mg dm⁻³ and 1.2 g kg⁻¹, respectively.

Keywords: *Brachiaria brizantha*, phosphorus, critical level, pH, triple superphosphate

1. INTRODUÇÃO

As gramíneas do gênero *Brachiaria* são as principais forrageiras cultivadas nas condições dos solos tropicais brasileiros, sendo que aproximadamente mais de 30 milhões de hectares cobertos por essas espécies se encontram degradadas (ZIMMER et al, 1994; CALHEIROS et al., 2013). Segundo Martins, Monteiro e Pedreira (2014), a baixa fertilidade do solo e a deficiência de P são os principais motivos para as pastagens apresentarem algum grau de degradação, o que está fortemente relacionado à adsorção desse nutriente aos oxihidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) (RAIJ, 2011). O P é vital para o crescimento e desenvolvimento de pastagens por estar associado à geração e armazenamento de energia, divisão e expansão celular e, conseqüentemente, à produção (MARSCHNER, 2012). Desse modo, a adubação fosfatada é bastante importante a fim de elevar os teores de P no solo à níveis adequados capazes de suprir as necessidades das plantas.

Sabe-se também que a aplicação de P juntamente com a calagem são as práticas agrícolas com maior custo na implantação de uma pastagem (WERNER, 1986; SILVA et al., 2013), e que os fosfatos constituem-se em fontes não-renováveis. Com dependência nacional de importações de P em torno de 50% (ANDA, 2012) e representando apenas 0,40% das reservas de rochas fosfáticas do mundo (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2013), o Brasil necessita de alternativas que supram o fornecimento desse nutriente às suas lavouras comerciais.

Neste sentido, o fosfato decantado (FD), subproduto resultante do tratamento de efluentes da produção de ácido fosfórico (H_3PO_4), vem sendo comercializado pelas indústrias de fertilizantes. Registrado recentemente e, de acordo com a Instrução Normativa nº 21 de 16 de abril de 2008 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2013), esse produto é considerado um passivo ambiental podendo acarretar obrigações econômicas aos fabricantes de fertilizantes fosfatados. No entanto, pesquisas científicas sobre o comportamento no solo, o fornecimento de nutrientes ao solo e às plantas e a eficiência desse fertilizante ainda são escassas, o que torna de suma importância estudos nesse âmbito.

De acordo com Ernani, Steckling e Bayer (2001), as fontes de P se diferenciam, principalmente, em relação à composição química, solubilidade e cátion acompanhante, sendo essas diferenças capazes de interferir na taxa de solubilização dos fosfatos e nas reações de adsorção e precipitação do P no solo, podendo alterar dessa forma a eficiência de utilização desse nutriente pelas plantas. Porém, atributos do solo como acidez, textura, mineralogia e matéria orgânica, bem como as práticas de manejo e as espécies cultivadas também podem afetar a eficiência desses fertilizantes (QUEIROZ; RAMOS; KORNDÖRFER, 2009).

Dentre os fatores que influenciam a adsorção e a precipitação de P no solo, a acidez é aquele que pode ser mais facilmente alterado, principalmente pela calagem. Segundo McBride (1994), com o aumento do pH do solo são geradas cargas negativas na superfície dos minerais de argila e da matéria orgânica, que aumentam a repulsão entre fosfato e a superfície adsorvente, diminuindo a adsorção. No caso de redução do pH do solo, ocorre processo inverso, aumentando a adsorção do P à fase sólida do solo. Soma-se também que compostos de baixa solubilidade podem ser formados por reações de precipitação do P com formas iônicas de Al e Fe, em solos ácidos, e com Ca, em solos básicos (NOVAIS; SMYTH, 1999).

O pH do solo nas microrregiões ao redor dos grânulos de fertilizantes, também pode afetar o comportamento dos adubos fosfatados (ERNANI; STECKLING; BAYER, 2001), principalmente por afetar a solubilização dos fosfatos. De forma geral, com o aumento do pH do solo, a disponibilidade de P proveniente das fontes solúveis em água e citrato neutro de amônio [superfosfatos, fosfato monoamônio (MAP) e fosfato diamônio (DAP)] é aumentada no solo (HAYNES, 1984), e reduzida para os fosfatos naturais devido a necessidade de prótons H^+ para solubilização (BORTOLON et al., 2014). Entretanto, há carência de estudos sobre o comportamento do FD e a sua relação com o pH do solo, o que torna importantes os estudos com esse propósito a fim de possibilitar o manejo adequado desse fertilizante na agricultura.

Portanto, os objetivos deste trabalho foram: avaliar os efeitos do fosfato decantado, sem e com a aplicação de calcário ao solo, no perfilhamento, na produção de massa seca da parte aérea e na absorção de nutrientes pela *Brachiaria brizantha* cv. Marandu; determinar os níveis críticos de P no solo e na planta; e avaliar a eficiência agronômica e econômica relativa do fosfato decantado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O fósforo e a produção do gênero *Brachiaria*

O P é recurso finito e insubstituível, o que desperta o interesse de inúmeros profissionais ligados à agricultura e às políticas públicas de preservação dos recursos naturais, já que mais de 99% da produção mundial de fertilizantes fosfatados tem como matéria prima as rochas fosfáticas (LOPES; SILVA; BASTOS; 2004). Embora a contabilização dessas rochas seja difícil, estima-se que as bases de reserva do mundo se encontram entorno de 67 bilhões de toneladas (t) de P_2O_5 , em que o Brasil representa apenas 0,40% desse montante (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2013). Com consumo de 4,3 milhões de t de P_2O_5 por ano e dependência de importações ao redor de 50% (ANDA, 2012), fazem-se necessárias alternativas que mantenham o suprimento de P na agricultura brasileira.

No caso de pastagens, a adubação fosfatada e a calagem são os maiores custos para o estabelecimento de pastos com elevadas produtividades (SILVA et al., 2013). Além disso, a deficiência de P é a limitação nutricional mais frequente nos solos das regiões tropicais. Souza et al. (2010) atribuíram essa carência à alta capacidade de adsorção de P aos minerais de argila 1:1 (caulinita), aos óxidos de Fe (hematita e goethita) e de Al (gibbsita) predominantes nesses solos intemperizados. Mielniczuk et al. (2003) acrescentaram que os Latossolos e Argissolos apresentam baixa fertilidade natural, reduzida capacidade de troca catiônica (CTC), altos teores de Al tóxico e cargas pH dependentes associadas à matéria orgânica, à caulinita e aos óxidos de Fe e Al.

Segundo Primavesi et al. (2006), em sistemas intensivos de produção de espécies forrageiras são aplicadas doses elevadas de fertilizantes nitrogenados objetivando incrementos na produtividade. Contudo, essa prática acarreta em maiores extrações de outros nutrientes (como o P) do solo pelas plantas, sendo imprescindível a reposição desses. Afinal, o P é extremamente importante para o vigor e desenvolvimento das plantas (CECATO et al, 2007). Marschner (2012) destaca a função vital desse nutriente em diversos processos fisiológicos do vegetal como a fotossíntese, a respiração, o armazenamento de energia e a divisão e expansão

celular. O P também é componente estrutural de vários compostos bioquímicos, participando do ácido nucleico (DNA e RNA de enzimas e co-enzimas) e também estimula o crescimento da raiz e está envolvido com a precocidade das culturas (MARSCHNER, 2012).

Segundo Santos et al. (2002), na implantação de pastagens, o P tem maior contribuição na formação do sistema radicular do que no desenvolvimento da parte aérea, já que nesse período a absorção do P é limitada pela baixa mobilidade desse nutriente no solo e ao reduzido volume inicial de raízes. Por outro lado, na fase de manutenção, o P está mais relacionado com o desenvolvimento da parte aérea (BELARMINO et al., 2003). No caso de deficiência em P, as plantas podem apresentar crescimento lento, perfilhamento nulo ou reduzido, secamento precoce das folhas inferiores e raízes pouco desenvolvidas (WERNER, 1986). Assim, a adubação fosfatada é essencial para o estabelecimento e a manutenção das pastagens (CECATO et al., 2007).

A capacidade produtiva das pastagens está intimamente relacionada ao fornecimento de P às plantas, já que esse nutriente é importante para o perfilhamento (GUSS et al., 1990). A densidade populacional de perfilhos e a massa individual de cada perfilho são os principais fatores capazes de promover aumentos na produção de massa seca de pastagens (MAYA et al., 2001). Deste modo, vários trabalhos vêm sendo realizados com o intuito de entender a dinâmica do perfilhamento e, conseqüentemente, a produção de massa seca das espécies forrageiras (MESQUITA et al., 2004; PATÊS et al., 2007; LOPES et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2012).

Fageria, Baligar e Clark (2006) relataram que o suprimento de nutrientes e de fotoassimilados é o principal fator capaz de determinar a expressão completa de perfilhos. Segundo Corsi e Nascimento Junior (1994), a densidade populacional de perfilhos é elevada até o limite em que as plantas passam a competir fortemente e, conseqüentemente, a população se estabiliza, sendo que para o nascimento de um perfilho, outro morre. Fageria, Baligar e Jones (1997) atribuíram a competição por luz e nutrientes como a possível causa da redução do número de perfilhos. Resumidamente, o perfilhamento nas gramíneas forrageiras é função de fatores intrínsecos e extrínsecos à planta, como genótipo, florescimento, temperatura, luminosidade, manejo de cortes ou pastejo e nutrição mineral (LANGER, 1972).

Dentro desse contexto, Melo et al. (2007), em experimento conduzido por dois crescimentos em vasos contendo amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico em casa de vegetação, com o objetivo de avaliar os efeitos do suprimento de P nos atributos produtivos e fisiológicos durante o estabelecimento do capim-marandu, constataram aumentos significativos do número de perfilhos, do número de folhas expandidas, da área foliar e da produção de massa seca da parte aérea com a aplicação de P. Os mesmos autores verificaram maior produção de perfilhos e de massa seca da parte aérea no segundo crescimento do que no primeiro crescimento da forrageira, o que estaria relacionado à remoção da gema apical no primeiro corte capaz de proporcionar maior perfilhamento e ao maior desenvolvimento radicular no segundo crescimento. Para a produção de massa seca da parte aérea, foram constatados grandes incrementos nas doses de P entre o intervalo de 10 a 90 mg dm⁻³. As fontes de P utilizadas nesse estudo foram Ca(H₂PO₄)₂, KH₂PO₄ e NaH₂PO₄.

Lopes et al. (2011), avaliando em condições de campo o efeito de doses de P (10, 20, 50 e 100 kg ha⁻¹ de P) na implantação de pasto consorciado de *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão (estilosantes Mineirão) e *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés (capim-xaraés), verificaram incrementos significativos nas taxas de acúmulo de massa seca e no número de perfilhos do capim-xaraés em função do aumento das doses de P no primeiro período seco pós-estabelecimento do consórcio, sendo que os maiores ganhos ocorreram no intervalo das doses de 10 a 50 kg ha⁻¹ de P. Nesse estudo, a variável número de folhas por perfilho não sofreu efeito significativo em função das doses de P.

2.2. A calagem e a disponibilidade de fósforo

No que se refere à correção da acidez do solo e a produção de massa seca, os resultados proporcionados pela calagem para as espécies do gênero *Brachiaria* são controversos, podendo ser verificados aumento, redução ou nenhum efeito da calagem na produção de massa seca dessas gramíneas (CRUZ; FERREIRA; LUCHETTA, 1994). Souza et al. (2007) acrescentam que a calagem pode elevar a disponibilidade de P para as pastagens. Para os mesmos autores, a aplicação de calcário é vantajosa pelo baixo custo e pela grande capacidade de fornecer cálcio (Ca)

e magnésio (Mg) às plantas, neutralizar Al e reduzir a disponibilidade de Mn, tóxico em quantidades excessivas. Em contrapartida, a calagem em excesso pode reduzir bastante a disponibilidade de Mn, Zn e Cu, causando deficiência desses e reduzindo a produção.

Queiroz, Ramos e Korndörfer (2009) acrescentam que atributos do solo como acidez, textura, mineralogia e matéria orgânica, bem como as práticas de manejo e as espécies cultivadas podem afetar a disponibilidade de P às plantas e, conseqüentemente, alterar a eficiência dos fertilizantes fosfatados.

Nesse sentido, a acidez do solo pode alterar a adsorção e a precipitação de P no solo. O aumento do pH do solo produz cargas negativas pela desprotonação dos radicais hidroxilas (OH^-) expostas nas argilas e na matéria orgânica, fazendo com que ocorra repulsão entre o ânion fosfato e a fase sólida do solo, enquanto que, em condições de solo ácido, cargas positivas são geradas aumentando a adsorção de P à superfície adsorvente (McBRIDE, 1994) Reações de precipitação do P também podem acontecer com formas iônicas de Al e Fe, em solos ácidos, e Ca em meio básico, gerando compostos com solubilidade baixa (NOVAIS; SMYTH, 1999).

O pH do solo nas microrregiões ao redor dos grânulos de fertilizantes também pode afetar o comportamento dos adubos fosfatados (ERNANI; STECKLING; BAYER, 2001), principalmente por alterar a solubilização dos fosfatos. De forma geral, incrementos nos valores de pH do solo promovem aumento na disponibilidade de P proveniente de fontes solúveis em água e citrato neutro de amônio (superfosfatos, MAP e DAP) (HAYNES, 1984), e redução para os fosfatos naturais devido a necessidade de prótons H^+ para solubilização (BORTOLON et al., 2014). Características das fontes de P relacionadas à composição química, solubilidade e cátion acompanhante podem interferir na solubilização dos fosfatos e nas reações de adsorção e precipitação desse nutriente no solo (ERNANI; STECKLING; BAYER, 2001).

Macedo (2004) e Foloni et al. (2008) acrescentam que a *Brachiaria brizantha* possui elevado potencial de obter o P do solo, o que a torna capaz de se desenvolver em solos ácidos. Segundo Goedert e Lobato (1984) e Souza, Lobato e Rein (2002), é comum encontrar altos índices de eficiência de uso do P pelo capim-braquiária mesmo quando utilizados fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade em água. De acordo

com Guedes et al. (2012), a habilidade de reciclar P do solo depende de cada espécie, a qual é influenciada pelas condições climáticas, atributos do solo e solubilidade das fontes de P. Porém, apesar da alta eficiência em absorver e utilizar o P, a braquiária também apresenta elevado potencial de resposta à adubação fosfatada (NASCIMENTO et al., 2002, MESQUITA et al., 2004; GUEDES et al., 2009; GUEDES et al., 2012).

Nesse sentido, Guedes et al. (2012), em experimento conduzido em casa de vegetação, avaliando o uso do fosfato natural (Arad), na presença e ausência da calagem, na disponibilidade de P do solo e extração desse nutriente por *Brachiaria brizantha*, constataram que a disponibilidade de P no solo não foi afetada significativamente pela aplicação de calcário, porém foi aumentada com o aumento das doses de P (0, 22, 44 e 88 mg kg⁻¹ de P). Na planta, os teores de P apresentaram-se diferentes em função da calagem, sendo esses ajustados a modelos quadráticos quando aplicado calcário, e lineares quando não utilizado esse corretivo. Segundo o mesmo trabalho, a maior produção de massa seca da parte aérea foi proporcionada pela dose de 88 mg kg⁻¹ de P.

Oliveira, Oliveira e Corsi (2007), avaliando por dois anos o efeito de fertilizantes fosfatados, associados ou não à calagem, para o capim-marandu, não verificaram interação significativa entre fontes (superfosfato simples, superfosfato triplo e termofosfato magnésiano) e calagem na produção de forragem. De acordo com os mesmos autores, a calagem foi fundamental para o aumento de produção ocorrido no segundo ano, o que estaria relacionado ao aumento nos teores de Ca e Mg e a redução dos teores de Al no solo. A dose aplicada de P em cada ano foi 40 kg ha⁻¹ de P. Nesse trabalho, não foi apresentado o teor de P no solo.

Souza et al. (2010), em experimento com o objetivo de verificar a influência da calagem no efeito residual de P, aplicado ao feijoeiro, na nutrição fosfatada e na produção de massa seca do capim-marandu cultivado em sucessão ao feijoeiro, verificaram efeito significativo de doses de calcário, na produção de massa seca da parte aérea e no acúmulo total de P na parte aérea dessa forrageira. Independentemente do solo estudado (Neossolo Quartzarênico, Latossolos Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho), o aumento das doses de calcário incrementaram significativamente a produção de massa seca do capim-marandu e o

acúmulo de P na parte aérea. O acúmulo de P pela planta foi maior nos Latossolos, que segundo os autores é explicado pelo fato desses solos serem mais argilosos e goethíticos, sendo assim capazes de reter mais fortemente o P adicionado. Segundo os mesmos autores, o acúmulo de P na parte aérea do capim-marandu foi inversamente proporcional à capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) e diretamente proporcional ao de P-rem e P-Mehlich-1. Embora os solos argilosos apresentassem os maiores valores de CMAP e menores valores de P-rem, não foi constatada diferença no acúmulo de P pela espécie forrageira nos solos, o que foi explicado pela maior capacidade de armazenamento de P dos solos argilosos.

Oliveira et al. (2003), em experimento de campo conduzido por dois anos objetivando avaliar o efeito de formas de aplicação, doses e tipos de calcário na recuperação de pastagem com *Brachiaria decumbens*, verificaram aumento significativo na produção de massa seca dessa forrageira quando realizada a calagem, sendo a produção do segundo ano maior do que no primeiro ano, o que de acordo com os autores estaria relacionado a melhoria gradual da fertilidade do solo (foi realizado adubação e calagem nos dois anos) e à recuperação da pastagem. Também foram verificados incrementos na produção de massa seca das raízes que segundo os autores estariam relacionados à redução na saturação por Al e aumento da disponibilidade de micronutrientes (não mencionados) e dos macronutrientes (Ca e Mg).

Fonseca et al. (2009) verificaram decréscimo linear da produção de massa seca do capim-marandu em função do aumento das doses de calcário, o que segundo os autores estaria relacionado ao fato de que plantas do gênero *Brachiaria* são tolerantes à acidez do solo. Nesse sentido, Fortes et al. (2006) haviam constatados que as maiores produções de massa seca da parte aérea em *Brachiaria brizantha* foram alcançadas com saturação por bases entre 24 e 29 %. No estado de São Paulo, é recomendado para *Brachiaria brizantha* elevar a saturação por bases à 60% para o período de formação e a 50% para a manutenção da pastagem (WERNER et al., 1996).

2.3. Nível crítico de P no solo e na planta

Diversos trabalhos concomitantes aos estudos de adubação fosfatada tem sido realizados com o objetivo de estabelecer o nível crítico de P no solo e na parte aérea do capim-marandu (MESQUITA et al, 2004; BONFIM et al., 2004; SILVA et al., 2013). Acrescenta-se que as classes de fertilidade de solo empregadas para forrageiras foram estabelecidas para culturas anuais (RAIJ, 1991). Nesse sentido, Silva et al. (2013), utilizando diferentes doses e fontes de P (MAP, superfosfato triplo, superfosfato simples e fosfato natural de Gafsa), constataram em Latossolo Vermelho (LV) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) somente efeito significativo das doses de P na produção de massa seca da parte aérea do capim-marandu. Os níveis críticos (Mehlich-1) no LV e no LVA foram 19,7 e 25,1 mg dm⁻³ de P, respectivamente. Os teores críticos de P no solo variaram dependendo da fonte utilizada, porém o superfosfato triplo teve os menores valores que estiveram entre 12,4 e 22,4 mg dm⁻³ de P. Na planta, os valores de nível crítico variaram entre 2,3 e 5,4 g kg⁻¹ de P, dependendo da fonte de P e solo utilizados.

Bonfim et al. (2004), em pesquisa sobre níveis críticos de P em *Brachiaria Brizantha* cv. Marandu em solos do estado de Pernambuco com diferentes características físico-químicas, constataram em dois crescimentos da planta que o Latossolo quando comparado a outros solos (Argissolo, Espodossolo e Chernossolo) apresentou os menores valores de nível crítico de P no solo e na planta, o que segundo este trabalho está relacionado aos maiores valores de capacidade máxima de adsorção de P e aos menores valores de P remanescente desse solo. Os níveis críticos de P no Latossolo foram diminuídos de 15,2 para 2,1 (Mehlich-1), de 21,4 para 6,9 mg dm⁻³ (Mehlich-3) e de 19,5 para 5,8 mg dm⁻³ (Bray-1) do primeiro para o segundo crescimento do capim-marandu.

Corrêa e Haag (1993) verificaram, em experimento de campo utilizando o capim-marandu, valores de nível crítico de P no solo, para 80% da produção relativa, de 10,8 mg dm⁻³ (Mehlich-1) e 21,8 mg dm⁻³ (Resina) no único corte realizado dessa forrageira. Segundo o mesmo autor, os teores críticos de P na planta foram, 1,3 g kg⁻¹ e 1,7 g kg⁻¹ associados às produções relativas de 80% e 90%, respectivamente.

2.4. O fosfato decantado na agricultura

O fosfato decantado é um subproduto resultante do tratamento da produção de ácido fosfórico (H_3PO_4). Registrado recentemente e, de acordo com a Instrução Normativa nº 21 de 16 de abril de 2008 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2013), esse produto deve conter no mínimo 14% de P_2O_5 e 12% de Ca em teores totais e 9% de P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio mais água. O processo de obtenção desse produto é dado pela reação de precipitação entre o ácido fosfórico e o hidróxido de cálcio ou calcário. Os estudos sobre a utilização desse produto na agricultura como fonte de P são incipientes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da UNESP - Câmpus de Jaboticabal – SP (21°14'47" S; 48°17'44" W), de outubro de 2012 a janeiro de 2013, em vasos contendo amostras de Latossolo Vermelho distrófico textura média (LVd), classificado conforme critérios estabelecidos pela Embrapa (2013). O solo foi coletado no município de Jaboticabal-SP em área de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens*, na camada arável de 0 a 0,20 m de profundidade, seco ao ar, passado em peneira de 6 mm de abertura de malha e armazenado.

Os atributos químicos relativos à fertilidade do solo foram determinados empregando os métodos descritos por Raij et al. (2001) e a granulometria pelo método da pipeta (DONAGEMA et al., 2011). Os resultados foram pH (CaCl₂) 4,1; MO = 23 g dm⁻³; P (resina) = 4 mg dm⁻³; K = 0,4 mmol_c dm⁻³; Ca = 7 mmol_c dm⁻³; Mg = 3 mmol_c dm⁻³; S = 4 mg dm⁻³, B = 0,36 mg dm⁻³; Cu = 0,7 mg dm⁻³, Mn = 5,5 mg dm⁻³, Zn = 0,5 mg dm⁻³, H+Al = 58 mmol_c dm⁻³; CTC = 68 mmol_c dm⁻³; V = 15%, argila = 260 g kg⁻¹; silte = 30 g kg⁻¹ e areia = 710 g kg⁻¹. Os teores totais de óxidos (Fe₂O₃, Al₂O₃ e SiO₂) foram obtidos por ataque sulfúrico segundo Donagema et al. (2011). Os teores de óxidos de ferro livre (Fe_{DCB}) e os de óxidos de ferro menos cristalinos (Fe_{Oxalato}) foram extraídos, respectivamente, com diotinito-citrato-bicarbonato de sódio e com oxalato de amônio, conforme descrito em Camargo et al. (2009). Os resultados foram Fe_{DCB} = 18 g kg⁻¹; Fe_{Oxalato} = 1,2 g kg⁻¹; Fe₂O₃ = 37,0 g kg⁻¹; Al₂O₃ = 97,0 g kg⁻¹ e SiO₂ = 116,0 g kg⁻¹. Como planta teste foi utilizado o capim-marandu (*Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu)

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado (com três repetições), obedecendo a esquema fatorial 6 x 2 x 2 [seis doses de P; duas fontes de P; presença (C/C) e ausência de calcário (S/C)], totalizando 72 unidades experimentais, que foram constituídas de um vaso de cerâmica (diâmetro = 0,22 m; altura = 0,20 m), revestido internamente com saco de plástico, contendo 2,8 kg de solo. As doses de P foram: 0, 30, 60, 90, 120 e 150 mg kg⁻¹ de P. As fontes de P foram: fosfato decantado (FD) resultante do tratamento de efluentes da produção de ácido fosfórico [17% de P₂O₅ total; 9% de P₂O₅ solúvel em citrato neutro de amônio + água; 12% de P₂O₅ solúvel

em ácido cítrico, Ca = 18% e poder neutralizante (PN) = 10,49% ECaCO₃] e o superfosfato triplo (fonte de referência) (P₂O₅ total = 45%; P₂O₅ solúvel em água = 37%; P₂O₅ solúvel em citrato neutro amônio + água = 43%; Ca = 14% e PN < 0,01% ECaCO₃). Os teores de P e Ca nos fertilizantes fosfatados foram determinados seguindo métodos descritos por Alcarde (2009). As amostras de solo com o tratamento de correção da acidez receberam a aplicação de calcário (CaO = 43%; MgO = 9%; PRNT = 95%), em quantidade calculada para elevar a saturação por bases (V) do solo a 60%, conforme sugerido por Werner et al. (1996). O PN dos adubos e a análise química e granulométrica do calcário foram determinados seguindo os métodos descritos em Brasil (1983). Os dois fertilizantes fosfatados foram aplicados na forma de pó, tendo-se como base de cálculo das doses, o P total existente nos adubos.

O corretivo da acidez do solo foi misturado com o solo de cada vaso, seguindo-se a adição de água destilada para que o solo atingisse aproximadamente 80% da capacidade máxima de retenção de água. Deixou-se o solo incubando por 20 dias. Após a incubação, o solo de cada vaso foi seco ao ar, seguindo-se a aplicação dos fertilizantes fosfatados e da adubação básica (mistura dos fertilizantes com o volume total de solo de cada vaso). A adubação básica, realizada em todas as unidades experimentais na forma de solução aquosa, foi constituída de doses de N, S, K e Zn, em mg kg⁻¹: N=30 e S=36 (sulfato de amônio), K=120 (cloreto de potássio) e Zn=3 (sulfato de zinco). Em seguida, foi adicionada água destilada de forma que o solo fosse mantido em 80% da capacidade máxima de retenção de água. A adubação fosfatada foi realizada apenas antes da semeadura.

A semeadura do capim-marandu foi realizada em seguida, com 30 sementes por vaso. Após sete dias da emergência das plantas, foi realizado o desbaste deixando 4 plantas por vaso. Após 20 dias da emergência das plantas, foi feito um corte a 0,10 m em relação ao nível do solo no vaso com o objetivo de uniformizá-las. Neste mesmo momento, foi realizada a primeira amostragem de solo superficial, coletando-se 100 gramas por vaso. Em seguida, foi efetuada adubação com 120 mg kg⁻¹ de N (sulfato de amônio).

Após o corte de uniformização, foram realizados, em intervalos de 30 dias, três cortes da parte aérea da forrageira, também a 0,10 m da superfície do solo. Após cada

corde, foi realizada adubação com 150 mg kg⁻¹ de N (nitrato de amônio) e com 80 mg kg⁻¹ de K (cloreto de potássio).

Por meio de pesagens diárias, durante todo o período experimental, foram realizadas regas diárias com água destilada, deixando-se o solo dos vasos com aproximadamente 80% da capacidade máxima de retenção de água.

As partes aéreas removidas em cada um dos três cortes foram lavadas em solução diluída de água mais detergente, enxaguadas em água corrente e depois com água destilada. Posteriormente, foram acondicionadas em sacos de papel para secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65° C. Depois de seco, o material vegetal foi pesado para a determinação da massa seca da parte aérea, e então as amostras foram moídas em moinho do tipo Willey, sendo em seguida, determinadas as concentrações de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn, segundo métodos descritos por Bataglia et al. (1983).

Após o primeiro e o segundo corte foram realizadas amostragens de solo superficiais (70 g/vaso). Nessas amostras, foram determinados o valor de pH em CaCl₂ e os teores de P, K, Ca, Mg e H+Al, empregando-se métodos descritos por Raji et al. (2001), sendo que a saturação por bases foi calculada.

Para avaliação do perfilhamento foi empregada a técnica de marcação com fio de arame colorido (DAVIES, 1981), em que no vaso, logo após cada corte da parte aérea, cada perfilho existente foi identificado com fio de arame de cor diferente. Assim, o primeiro, o segundo e o terceiro cortes tiveram fios brancos, azuis e amarelos, respectivamente. Ao final do terceiro corte, os fios foram contados, obtendo-se o número de perfilhos referentes a cada corte e, quando somados, o número total de perfilhos (densidade populacional de perfilhos).

Por meio da relação entre produção relativa de massa seca da parte aérea e os teores de P no solo ou na planta foram calculados os níveis críticos desse nutriente. Para a determinação do nível crítico de P foi utilizado o modelo linear descontínuo descrito por Alvarez V. (1994), sendo esse valor definido pela intersecção das duas retas. Nesse modelo, o primeiro segmento é definido por regressão linear e o segundo por cálculo da média. Para definir os pontos do segundo segmento foi adotado como critério o maior coeficiente de determinação (R²) para os dois segmentos em conjunto.

Para avaliar a eficiência agrônômica das fontes de P foi utilizado o método sugerido por Goedert, Souza e Rein (1986), tendo-se a curva de resposta do ST como referência. A análise comparativa das curvas de resposta (EqST médio) é calculada por meio do quociente dos quadrados dos coeficientes angulares das curvas, multiplicado por cem, empregando-se como numerador o fosfato decantado (y_2) e, divisor o superfosfato triplo (y_1):

$$EqST \text{ médio } (\%) = \left[\frac{b(y_2)}{b(y_1)} \right]^2 \cdot 100$$

Para a avaliação da eficiência econômica foi utilizado o método proposto por Hanafi e Syers (1994), em que o índice de eficiência econômica relativa (EER) foi obtido pela razão entre o preço em reais de um quilograma (kg) de P_2O_5 do superfosfato triplo (PST), fonte referência, e o custo de um quilograma de P_2O_5 da fonte testada (PFT), multiplicado pelo índice de eficiência agrônômica da fonte teste e por cem. Nesse cálculo, O EqST médio foi utilizado como índice de eficiência agrônômica.

$$EER (\%) = \left(EqSt \text{ médio} \cdot \frac{PST}{PFT} \right) \cdot 100$$

As informações necessárias para o cálculo da EER são: o preço dos fertilizantes em reais por tonelada (t) (FD = R\$ 250/t; ST = R\$ 1240/t), o teor total de P_2O_5 no fertilizante (FD = 17%; ST = 45%), o PFD = R\$ 1,47, o PST = R\$ 2,76 e a relação PST/PFT = 1,88. Os valores comerciais dos fertilizantes foram obtidos através de comunicação pessoal com as empresas revendedoras, da região de Ribeirão Preto-SP e Catalão-GO, no dia 23-07-2014, quando o dólar comercial era cotado em R\$ 2,22.

Os resultados foram analisados estatisticamente, efetuando-se a análise de variância e, quando o F foi significativo, aplicou-se o teste de Tukey e/ou o estudo de regressão polinomial (linear ou quadrática).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. No solo

A adubação fosfatada incrementou significativamente os teores de P no solo em todas as amostragens (Tabela 1). Esse resultado corrobora com diversos trabalhos que verificaram aumento dos teores desse nutriente no solo em função da aplicação de doses de P (MESQUITA et al., 2004; FOLONI et al., 2008; IEIRI et al., 2010; GUEDES et al. 2012; CRUSCIOL et al., 2013).

Tabela 1. Efeitos da calagem e das doses e fontes de fósforo nos valores de pH e nos teores de P e H+Al no solo nas três amostragens.

Fontes de P	P no solo			pH do solo (CaCl ₂)			H+Al		
	1°Cr	2°Cr	3°Cr	1°Cr	2°Cr	3°Cr	1°Cr	2°Cr	3°Cr
	----- mg dm ⁻³ -----						----- mmolc dm ⁻³ -----		
ST	28a	21b	18b	4,9b	4,6b	4,3b	26a	38a	41a
FD	26a	24a	21a	5,1a	4,9a	4,6a	23b	32b	38b
Teste F	1,17 ^{NS}	5,12*	8,89**	47,64**	90,91**	58,22**	68,03**	73,09**	33,22**
Calagem									
Ausente	26a	21a	19a	4,5b	4,3b	4,1b	34a	41a	46a
Presente	28a	23a	19a	5,6a	5,2a	4,8a	15b	29b	32b
Teste F	0,84 ^{NS}	3,84 ^{NS}	0,01 ^{NS}	1179,00**	919,31**	432,78**	2857,08**	291,08**	446,06**
Doses de P (mg kg ⁻¹)									
0	4	4	4	4,9	4,6	4,6	24	37	38
30	10	11	9	5,0	4,7	4,4	24	38	42
60	20	16	13	5,1	4,8	4,3	24	34	41
90	17	23	24	5,0	4,7	4,4	25	34	39
120	43	35	30	5,1	4,8	4,5	25	33	38
150	58	43	36	5,1	4,9	4,5	25	34	39
Teste F	151,01**	92,32**	80,33**	5,99**	6,06**	4,69**	1,19 ^{NS}	4,69**	3,50**
(F x C)	4,25*	0,04 ^{NS}	2,83 ^{NS}	5,56*	24,58**	0,06 ^{NS}	29,09**	15,63**	9,54**
(F x D)	1,71 ^{NS}	0,36 ^{NS}	0,85 ^{NS}	4,34**	3,94**	6,12**	9,47**	0,94 ^{NS}	4,51**
(C x D)	0,11 ^{NS}	0,63 ^{NS}	0,23 ^{NS}	2,10 ^{NS}	1,99 ^{NS}	1,45 ^{NS}	1,13 ^{NS}	2,06 ^{NS}	7,38**
(F x C x D)	0,35 ^{NS}	0,70 ^{NS}	0,74 ^{NS}	1,66 ^{NS}	1,06 ^{NS}	0,32 ^{NS}	4,29**	0,81 ^{NS}	1,67 ^{NS}
C.V. (%)	21,4	24,3	25,2	2,7	2,6	3,3	6,1	8,9	7,2

NS - Não Significativo; * e ** significativo, respectivamente, a 5% e 1% de probabilidade.

No entanto, na primeira amostragem do solo, as fontes de P tiveram comportamentos diferentes em função da calagem evidenciados pela interação significativa fontes e calagem (F x C), sendo que, na ausência de calcário, as fontes

não diferiram quanto aos teores desse nutriente no solo, enquanto que, quando aplicado esse corretivo, o ST foi superior no fornecimento de P ao solo quando comparado ao FD (Tabela 2). Na segunda e terceira amostragens do solo, o FD proporcionou maiores acréscimos dos teores de P no solo, independentemente da aplicação de calcário (Tabela 1). Acrescenta-se que, na primeira amostragem, a aplicação do corretivo proporcionou aumentos na disponibilidade de P no solo apenas quando utilizado o ST e, que não houve diferença significativa nos teores de P quando aplicado o FD (Tabela 2). Não houve efeitos significativos da calagem nos teores desse nutriente no solo na segunda e terceira amostragens (Tabela 1). Nas três amostragens, os teores de P no solo foram incrementados linearmente com o aumento das doses de P, independentemente da fonte de P aplicada (Figura 1).

Tabela 2. Desdobramentos das interações significativas fonte de P e calagem (F x C) para os valores de pH e os teores de P e H+Al no solo nas três amostragens.

Fontes de P	1°Cr		2°Cr		3°Cr	
	S/C	C/C	S/C	C/C	S/C	C/C
P no solo (mg dm ⁻³)						
ST	26 aB	30 aA	19 aA	22 aA	19 aA	17 aA
FD	27 aA	25 bA	22 aA	24 aA	20 aA	22 aA
pH do solo (CaCl ₂)						
ST	4,3 bB	5,5 bA	4,1 bB	5,1 bA	4,0 aA	4,7 aA
FD	4,6 aB	5,7 aA	4,5 aB	5,3 aA	4,2 aA	4,9 aA
H+Al (mmol _c dm ⁻³)						
ST	36 aA	15 aB	46 aA	30 aB	49 aA	33 aB
FD	31 bA	14 bB	37 bA	27 bB	44 bA	32 aB

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, e maiúscula na linha, indicam que as mesmas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O efeito do ST nos incrementos de P ao solo na primeira amostragem do solo deve-se a sua elevada solubilidade em água e citrato neutro de amônio. Porém, a superiodade do ST no suprimento desse nutriente na primeira amostragem, quando aplicado calcário, pode estar relacionada a dois processos: a) aumento da disponibilidade do P proveniente do ST proporcionada pela correção da acidez, que reduz a adsorção de P aos óxidos de Fe e Al do solo (McBRIDE, 1994); b) diminuição nessas condições da eficiência do FD, que necessita de certa acidez no meio para solubilização inicial do P. Nesse sentido, Goedert, Rein e Souza (1990) verificaram relação diretamente proporcional entre a eficiência de fosfatos parcialmente acidulados e a taxa de acidulação (razão molar H⁺/P₂O₅), o que pode ter ocorrido

nesse experimento visto que o FD foi significativamente superior ao ST no fornecimento de P ao solo após a primeira amostragem do solo quando os valores de pH foram reduzidos (Tabela 1) devido à acidificação do solo pela adubação nitrogenada (RAIJ, 2011).

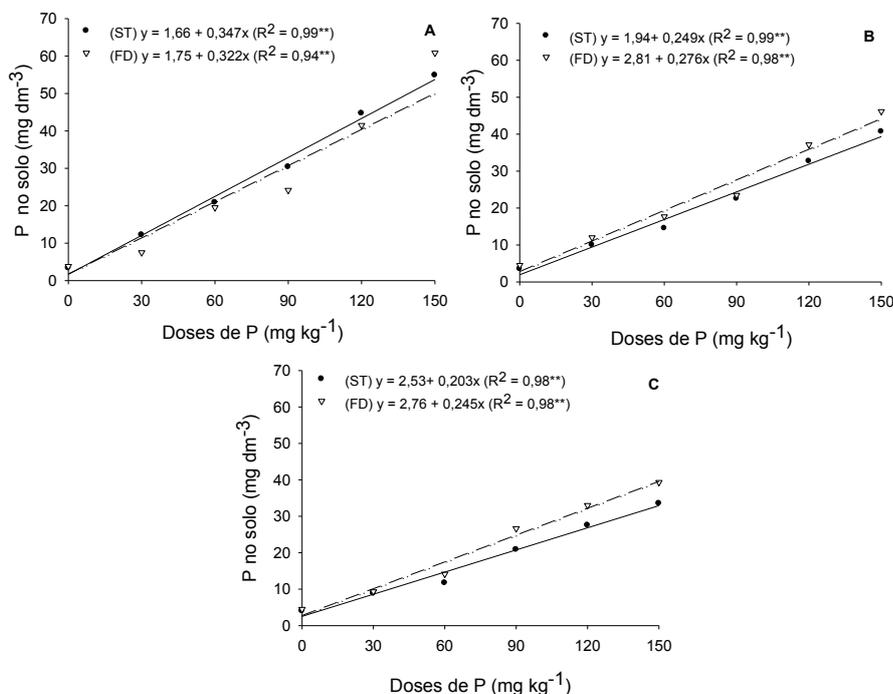


Figura 1. Efeitos das fontes e doses de fósforo nos teores de P no solo antes da semeadura (A) e após o primeiro e segundo crescimentos do capim-marandu (B e C).

Quanto a acidez do solo, verificou-se que, por meio dos desdobramentos das interações fontes e doses (F x D), o FD proporcionou incrementos nos valores de pH do solo em função do aumento das doses de P nos três crescimentos do capim-marandu, diferentemente do que ocorreu para o ST que resultou em valores de pH constantes em função das doses de P aplicadas (Figura 2). Os desdobramentos das interações significativas F x C da primeira e segunda amostragens permitem verificar que a calagem aumentou os valores de pH do solo (Tabela 2). Na terceira amostragem, também foi constatado incrementos nos valores de pH com a aplicação de calcário, embora não tenha sido verificado efeito significativo da interação F x C (Tabela 1).

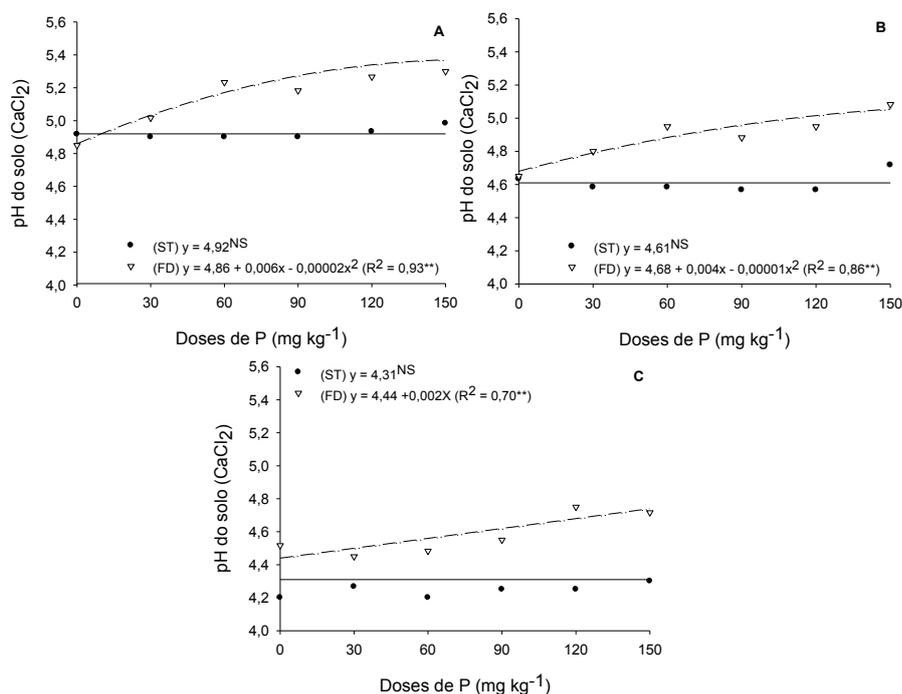


Figura 2. Efeitos das fontes e doses de fósforo nos valores de pH do solo antes da semeadura (A) e após o primeiro e segundo crescimentos do capim-marandu (B e C).

Para os teores de H+Al foi observada redução em função das doses crescentes de P na forma de FD nas três amostragens do solo e, aumento com as doses de P provindos do ST na primeira e terceira amostragens, sendo que não houve efeito significativo das doses de P na forma ST nos teores de H+Al na segunda amostragem (Figura 3). A calagem promoveu a redução dos teores de H+Al em todas as amostragens (Tabela 2). Destaca-se que o FD quando comparado ao ST apresentou os maiores valores médios de pH do solo e os menores teores de H+Al nas três amostragens do solo, independentemente da aplicação do calcário (Tabela 2).

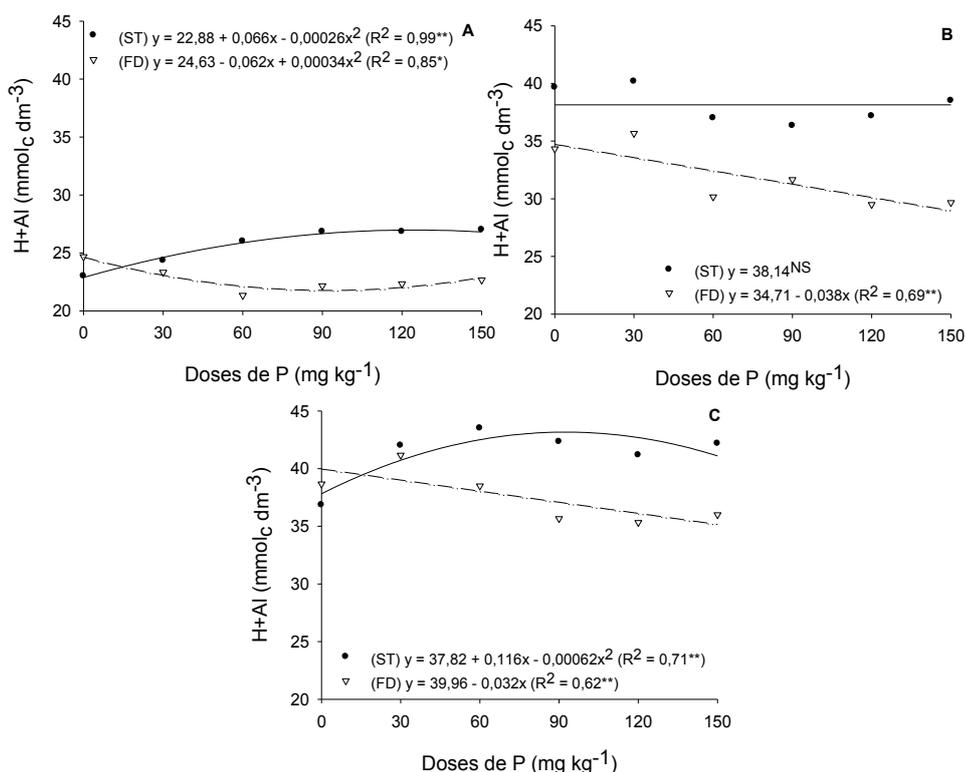


Figura 3. Efeitos da fontes e doses de fósforo nos teores de H+Al no solo antes da semeadura (A) e após o primeiro e segundo crescimentos do capim-marandu (B e C).

Os incrementos no valor de pH do solo e, conseqüentemente, a redução nos teores de H+Al proporcionados pelo FD podem ter ocorrido devido ao fato de que, no processo de obtenção desse fertilizante, o hidróxido de cálcio ou calcário é colocado para reagir com o ácido fosfórico, gerando o precipitado (fosfato decantado de cálcio), que posteriormente, é seco e comercializado. Assim, ânions hidroxilas ou carbonatos podem ser liberados na solução do solo, retirando íons de hidrogênio e aumentando o valor de pH do solo. A possível presença desses ânions é confirmada pelo poder neutralizante de 10,49% ECaCO₃ do fertilizante. No caso do ST, apesar de conter Ca na sua composição, o ânion acompanhante não é neutralizante da acidez, evidenciado pelo PN abaixo do limite de detecção do método (<0,01% ECaCO₃).

Na Tabela 3, são apresentados os efeitos da calagem e das fontes e doses de P nos teores de Ca, Mg, K e na saturação por bases do solo.

Tabela 3. Efeitos da calagem e das doses e fontes de fósforo nos teores de Ca, Mg e K e na saturação por bases (V) do solo nas três amostragens.

Fontes de P	Ca no solo			Mg no solo			K no solo ⁽¹⁾			V		
	1°Cr	2°Cr	3°Cr	1°Cr	2°Cr	3°Cr	1°Cr	2°Cr	3°Cr	1°Cr	2°Cr	3°Cr
----- mmolc dm ⁻³ -----						----- % -----						
ST	17b	21a	15b	5a	4b	2a	1,8a	1,0a	1,0a	47b	37b	30b
FD	24a	24a	22a	5a	5a	2a	1,8a	1,0a	1,0a	54a	43a	38a
Teste F	36,70**	1,46 ^{NS}	17,47**	2,90 ^{NS}	6,28*	1,84 ^{NS}	0,29 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,27 ^{NS}	122,82**	15,90**	37,11**
Calagem												
Ausente	8b	7b	7b	2b	2b	2b	1,8a	1,1a	1,0a	27b	20b	17b
Presente	32a	37a	30a	8a	8a	3a	1,8a	1,1a	0,9a	74a	61a	50a
Teste F	491,80**	127,49**	180,50**	2108,90**	296,53**	34,77**	0,12 ^{NS}	0,07 ^{NS}	1,22 ^{NS}	4100,50**	758,20**	429,26**
Doses de P (mg kg⁻¹)												
0	15	18	15	5	5	4	1,8	2,0	2,4	46	39	36
30	16	20	15	5	6	2	1,8	1,0	0,8	47	37	29
60	18	21	17	5	5	2	1,8	0,8	0,6	49	40	30
90	21	22	17	5	5	2	1,8	0,8	0,6	52	39	32
120	26	25	24	6	4	2	1,8	0,7	0,6	55	43	38
150	26	27	22	6	4	2	1,8	0,8	0,6	56	45	37
Teste F	13,30**	1,15 ^{NS}	3,23*	4,06**	4,87**	9,85**	0,05 ^{NS}	61,09**	236,86**	22,86**	2,26 ^{NS}	3,85**
(F x C)	0,07 ^{NS}	0,79 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,32 ^{NS}	0,32 ^{NS}	1,85 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,63 ^{NS}	42,82**	0,07 ^{NS}	1,21 ^{NS}
(F x D)	5,07**	0,20 ^{NS}	1,35 ^{NS}	1,78 ^{NS}	0,76 ^{NS}	0,49 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,16 ^{NS}	12,02**	0,70 ^{NS}	3,06*
(C x D)	0,30 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,58 ^{NS}	4,95**	6,54**	0,19 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,86 ^{NS}	7,30**	1,09 ^{NS}	0,43 ^{NS}
(F x C x D)	0,58 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,27 ^{NS}	1,27 ^{NS}	0,60 ^{NS}	0,55 ^{NS}	0,18 ^{NS}	0,12 ^{NS}	0,20 ^{NS}	2,70*	0,12 ^{NS}	0,76 ^{NS}
C.V. (%)	22,6	50,2	38,9	11,9	30,6	44,6	7,2	22,4	16,1	6,1	15,4	19,7

NS – Não Significativo; * e ** significativo, respectivamente, a 5% e 1% de probabilidade.⁽¹⁾ Dados transformados por $x^{0,5}$.

Por meio dos desdobramentos das interações F x D, o FD foi superior ao ST no fornecimento de Ca ao solo nas três amostragens de solo (Figura 4), sendo os teores desse nutriente na primeira amostragem incrementados linearmente em função das doses de P aplicadas, porém com efeito mais pronunciado para o FD. Na segunda e terceira amostragens de solo, os teores de Ca no solo tiveram ajuste linear às doses de P aplicadas na forma de FD e, mantiveram-se constantes com o aumento das doses de P quando aplicado o ST. Os teores de Ca no solo foram incrementados significativamente nas três amostragens com a aplicação de calcário (Tabela 3). Os maiores incrementos proporcionados pelo FD nos teores de Ca ao solo estão relacionados a maior concentração desse nutriente nesse fertilizante em relação ao do ST (FD = 18% de Ca; ST = 14% de Ca).

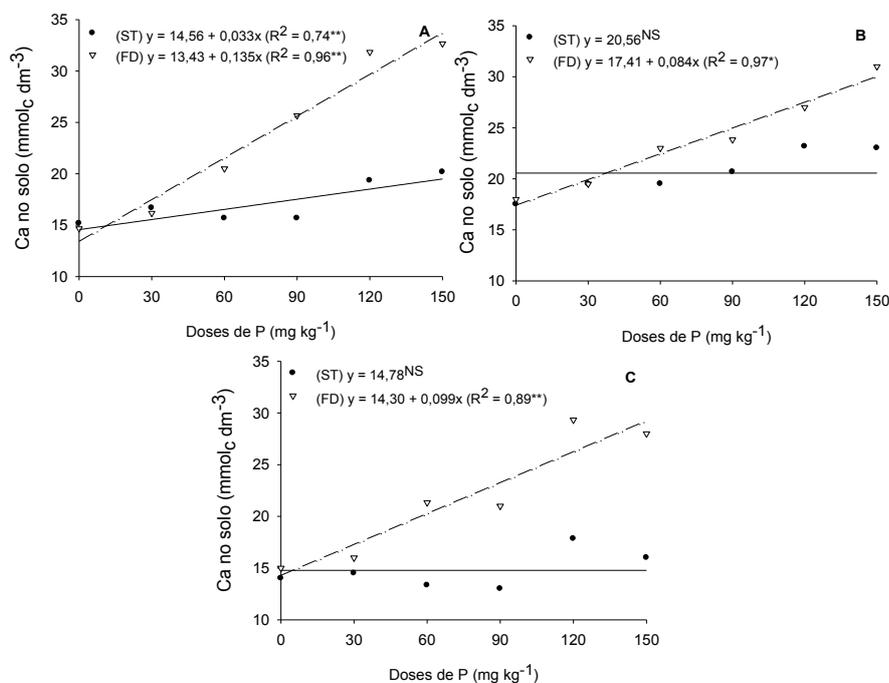


Figura 4. Efeitos das fontes e doses de fósforo nos teores de Ca no solo antes da semeadura (A) e após o primeiro e segundo crescimentos do capim-marandu (B e C).

Os teores de Mg no solo foram aumentados significativamente nas três amostragens quando o corretivo da acidez foi aplicado (Tabela 3). Entretanto, o desdobramento da interação C x D permite verificar que, na primeira amostragem do solo, os teores desse nutriente no solo tiveram ajuste linear às doses de P aplicadas (Figura 5A). Na segunda e terceira amostragens, quando aplicado o corretivo da

acidez, os teores de Mg foram reduzidos com o aumento das doses de P, enquanto que, em condições de acidez do solo, não houve alterações significativas nos teores de Mg no solo em função das doses de P (Figura 5B e 5C). Os teores de Mg no solo não diferiram quanto as fontes de P utilizadas, exceto no segundo crescimento em que o FD foi ligeiramente superior ao ST (Tabela 3). Esses resultados podem indicar uma possível presença de uma quantidade pequena de Mg na composição do FD.

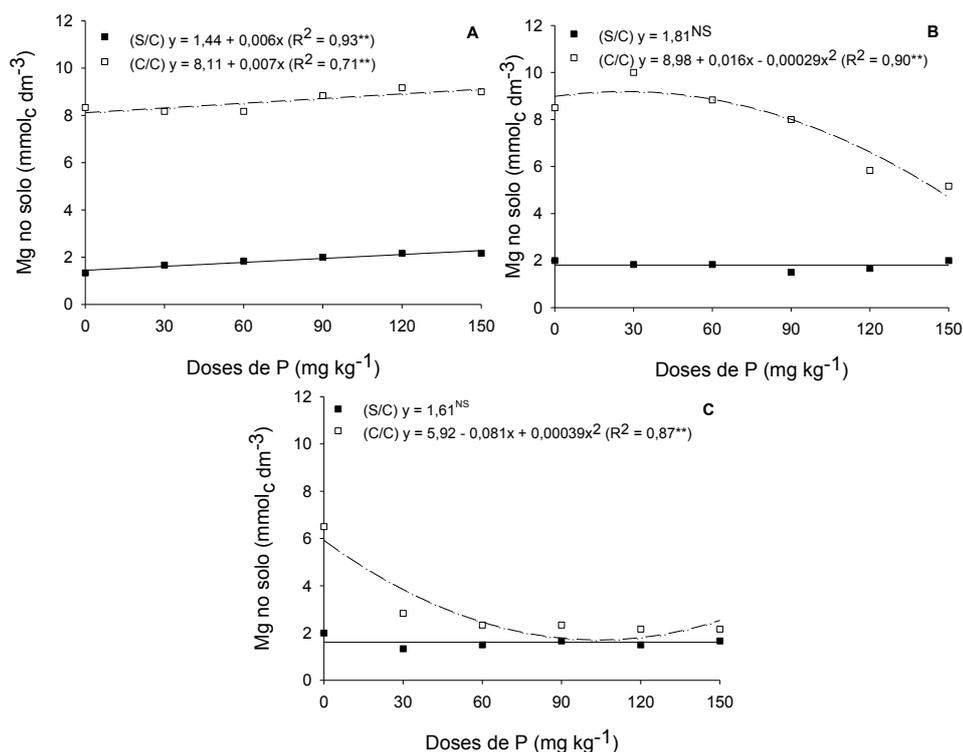


Figura 5. Efeitos da calagem e doses de fósforo nos teores de Mg no solo antes da semeadura (A) e após o primeiro e segundo crescimentos do capim-marandu (B e C).

Para o K no solo, houve redução significativa dos teores desse nutriente em função das doses de P nas amostragens de solo realizadas após o primeiro crescimento, não havendo influência da calagem e das fontes de P nos teores de K no solo (Figura 6). Entretanto, esse efeito provocado pelas doses de P deve ser atribuído ao baixo crescimento das plantas nos tratamentos sem P, levando a extração de uma quantidade pequena desse nutriente no solo, associada à adubação potássica efetuada após cada corte.

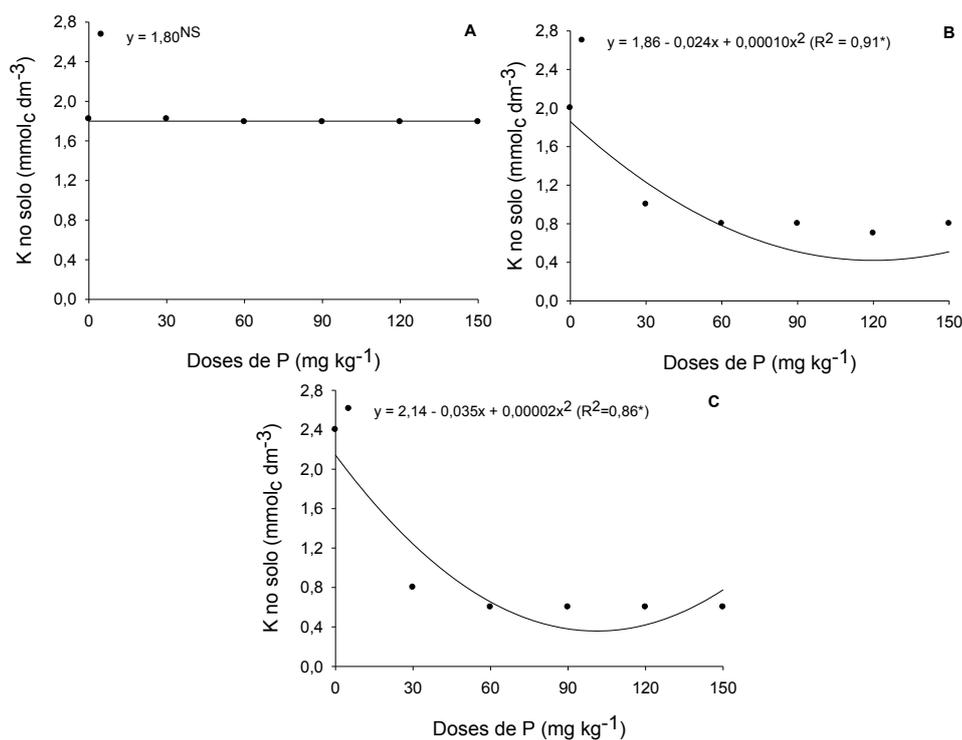


Figura 6. Efeitos das doses de fósforo nos teores de K no solo antes da semeadura (A) e após o primeiro e segundo crescimentos do capim-marandú (B e C).

Na saturação por bases do solo, foi constatado que o FD foi superior ao ST no fornecimento de bases ao solo, tendo os seus valores ajustados linearmente às doses de P em todas as amostragens (Figura 7). Nas três amostragens do solo, os tratamentos com calcário tiveram, com todas as doses de P utilizadas, as maiores saturações por base em relação aos tratamentos sem aplicação desse corretivo (Figura 8). Esses resultados podem ser explicados pelo fato da saturação por bases do solo ser calculada pela razão da soma dos teores das bases (Ca, Mg e K) pela capacidade de troca catiônica (CTC), que corresponde ao somatório dos teores no solo de Ca, Mg, K e acidez potencial (H+Al). Desse modo, a saturação por bases calculada para o FD foi maior do que para o ST, já que o FD teve principalmente os maiores teores de Ca no solo e os menores valores de acidez potencial. De forma análoga, a aplicação de calcário proporcionou elevados incrementos nos teores de Ca e Mg no solo e redução nos teores de H+Al, levando a obtenção de porcentagens de saturação por bases superiores aquelas calculadas para os tratamentos sem aplicação do calcário.

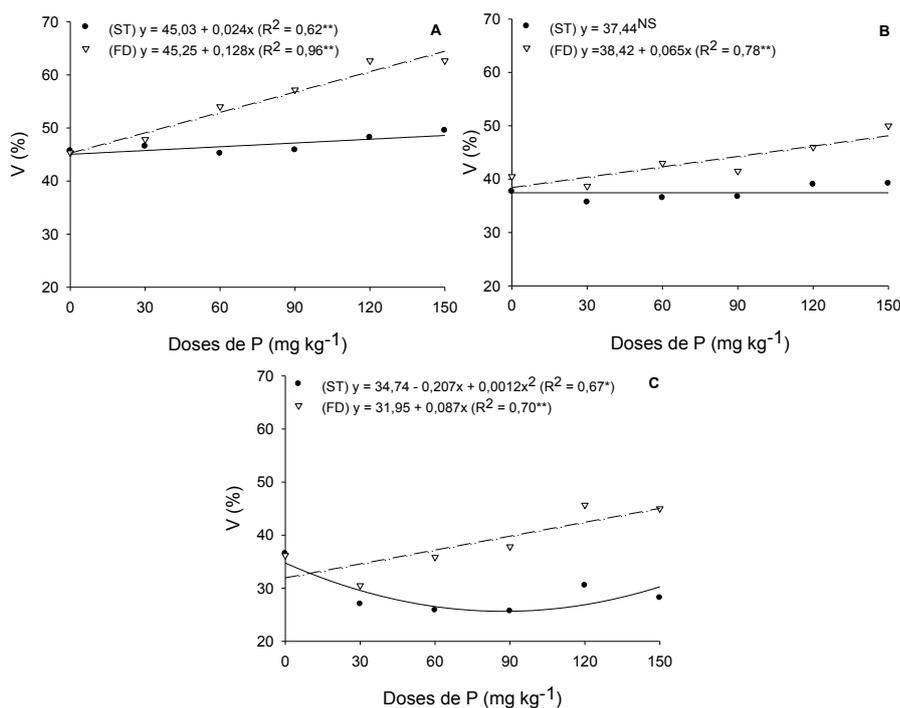


Figura 7. Efeitos das fontes e doses de fósforo na saturação por bases do solo antes da semeadura (A) e após o primeiro e segundo crescimentos do capim-marandu (B e C).

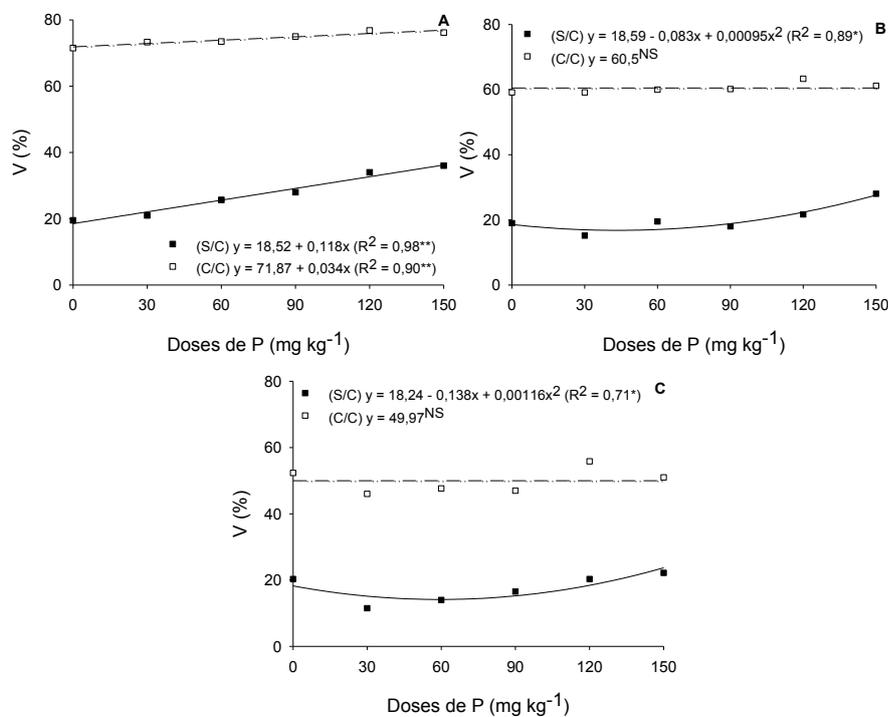


Figura 8. Efeitos da calagem e doses de fósforo na saturação por bases do solo antes da semeadura (A) e após o primeiro e segundo crescimentos do capim-marandu (B e C).

4.2. Na parte aérea do capim-marandu

Na avaliação química da parte aérea das plantas (Tabela 4), verificou-se que a adubação fosfatada incrementou significativamente os teores de P na parte aérea do capim-marandu em todos os crescimentos. O desdobramento da interação F x D (Figura 9) permitem constatar que o FD foi inferior ao ST no fornecimento de P às plantas no primeiro crescimento, especialmente a partir da dose de 60 mg dm⁻³ de P em que essa diferença entre as fontes de P nos teores desse nutriente na parte aérea foi aumentada. Após o primeiro crescimento, também houve aumento nos teores de P na parte aérea em função das doses de P aplicadas, porém não houve diferença significativa entre as fontes de P nos teores desse nutriente na parte aérea.

Destaca-se que os teores de P no solo para o FD foram inferiores ao ST para o primeiro crescimento, comportamento semelhante ao do nutriente na parte aérea, porém superior após o primeiro crescimento (comportamento diferente). Desse modo, para o segundo e terceiro crescimentos, o maior fornecimento de P ao solo pelo FD comparado ao ST não resultou em maior extração do nutriente pelas plantas, o que pode estar relacionado ao fato de que, no primeiro crescimento, os valores superiores de P no solo e na planta proporcionados pelo ST tenham permitido possivelmente que o sistema radicular do capim-marandu se desenvolvesse mais em relação aos tratamentos com FD, aumentando o contato raiz-solo e, conseqüentemente, facilitando a absorção desse nutriente por difusão e interceptação radicular. Embora o principal mecanismo de movimentação do P seja por difusão (MARSCHNER, 2012), a interceptação radicular também pode contribuir na absorção de P, principalmente pelo maior crescimento das raízes em relação à parte aérea (FÖHSE; CLAASSEN; JUNGK, 1988; RAGHOTHAMA, 1999), fazendo com que o sistema radicular explore maior volume de solo. Nesse sentido, acrescenta-se que o aumento da concentração inicial de P na solução de solo e da taxa do crescimento radicular são capazes de melhorar a absorção desse nutriente (BARBER, 1995). Salas, Rivero e Casanova (2006) verificaram que a utilização de uma fonte solúvel pode favorecer o crescimento precoce das raízes, promovendo maior utilização do P disponível.

Os teores de P no solo e na parte aérea foram reduzidos sucessivamente após cada crescimento, o que foi acompanhado pelos valores de pH do solo nesse experimento. Segundo McBride (1994), a redução nos valores de pH aumenta a

adsorção de P à fase sólida do solo, já que em condições de solo ácido, o fosfato reage rapidamente com o octaedro de Al pela substituição dos grupos OH localizados na superfície dos oxidróxidos de Fe e Al, formando complexos de esfera interna. Soma-se também que, em solos ácidos, compostos de baixa solubilidade podem ser formados pela precipitação do P com formas iônicas de Al e Fe (Novais & Smyth, 1999). Assim, com o aumento da adsorção do P ao solo, foi intensificada a competição solo-planta pelo nutriente, reduzindo a absorção pelas raízes e os teores de P na parte aérea do capim-marandu.

Por meio dos desdobramentos das interações C x D (Figura 10), verificou-se que os teores de P na parte aérea, no primeiro crescimento, foram maiores quando aplicado calcário do que em condição de acidez do solo, sendo que os teores desse nutriente foram ajustados em função das doses de P em equação de segundo grau para os tratamentos com calagem e, em equações de primeiro grau para aqueles sem aplicação do corretivo. No segundo e terceiro crescimentos, os teores de P na parte aérea foram muito próximos, com ou sem calagem, em função do aumento das doses de P aplicadas. No primeiro crescimento, os maiores teores de P na parte aérea para aqueles tratamentos em que foi aplicado calcário em relação aos que não receberam o corretivo podem estar relacionados aos aumentos dos teores desse nutriente no solo proporcionados pelo ST quando realizada a calagem (Tabela 2). Após o primeiro crescimento, os teores de P na parte aérea seguiram o mesmo comportamento do nutriente no solo, não havendo diferenças significativas entre os tratamentos com e sem calagem nos teores de P no solo e na parte aérea.

Para os teores de Ca e Mg na parte aérea, constatou-se que os teores de Ca foram incrementados em função das doses de P aplicadas ao solo (Figura 11), sendo que o FD mostrou-se superior no fornecimento de Ca às plantas em todos os crescimentos, o que é condizente com os maiores incrementos desse nutriente ao solo proporcionados pelo FD em relação ao ST. Nos três crescimentos, os teores de Ca e Mg na parte aérea foram significativamente superiores para os tratamentos com calagem comparados àqueles sem calagem (Figura 12 e Tabela 4), seguindo assim o mesmo comportamento dos teores desse nutriente no solo, o que está fortemente associado a presença de Ca e Mg na constituição do calcário. Não houve efeitos significativos de fontes e doses de P nos teores de Mg na parte aérea. Esse resultado

permite inferir que embora o FD tenha possibilitado um pequeno aumento na disponibilidade de Mg no solo, sobretudo no segundo crescimento, esse incremento ao solo não foi suficiente para elevar os teores desse nutriente na parte aérea do capim-marandu, o que fortalece a hipótese de que o Mg pode ser encontrado em quantidades muito pequenas no FD.

Tabela 4. Efeitos da calagem e das doses e fontes de fósforo nos teores de P, Ca e Mg na parte aérea do capim-marandu nos três crescimentos.

Fontes de P	P na parte aérea			Ca na parte aérea			Mg na parte aérea		
	1ºCr	2ºCr	3ºCr	1ºCr	2ºCr	3ºCr	1ºCr	2ºCr	3ºCr
	----- g kg ⁻¹ -----								
ST	1,9a	1,3a	0,9a	3,2b	2,7b	2,4b	3,4a	2,7a	2,2a
FD	1,7b	1,2a	0,9a	3,9a	3,5a	2,7a	3,4a	2,7a	2,2a
Teste F	9,60**	0,70 ^{NS}	0,31 ^{NS}	35,92**	48,31**	5,51*	0,01 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,02 ^{NS}
Calagem									
Ausente	1,5b	1,2a	0,9a	2,7b	2,0b	1,6b	2,8b	1,4b	1,3b
Presente	2,1a	1,2a	0,9a	4,4a	4,2a	3,5a	4,0a	3,9a	3,1a
Teste F	48,40**	1,22 ^{NS}	2,82 ^{NS}	210,87**	331,05**	181,64**	36,66**	172,50**	301,33**
Doses de P (mg kg ⁻¹)									
0	0,4	0,4	0,3	2,2	1,7	1,9	3,5	3,0	2,5
30	1,6	1,1	0,8	3,5	3,0	2,3	3,2	2,7	2,1
60	2,0	1,3	0,8	3,9	3,0	2,3	3,4	2,6	2,2
90	2,0	1,3	1,0	3,9	3,2	2,6	3,4	2,6	2,1
120	2,3	1,6	1,3	3,9	3,6	3,0	3,4	2,6	2,1
150	2,5	1,8	1,4	4,2	4,0	3,1	3,5	2,6	2,3
Teste F	48,41**	41,77**	73,77**	24,97**	29,92**	7,13**	0,21 ^{NS}	0,46 ^{NS}	1,34 ^{NS}
(F x C)	0,01 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,96 ^{NS}	0,30 ^{NS}	10,87**	2,89 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,09 ^{NS}
(F x D)	4,00**	0,33 ^{NS}	1,53 ^{NS}	1,91 ^{NS}	2,48*	1,13 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,10 ^{NS}
(C x D)	3,93**	0,26 ^{NS}	0,88 ^{NS}	5,54**	8,37**	5,41**	0,08 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,18 ^{NS}
(F x C x D)	2,06 ^{NS}	0,36 ^{NS}	1,72 ^{NS}	0,31 ^{NS}	2,73*	2,11 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,31 ^{NS}
C.V. (%)	20,9	21,6	18,3	13,9	16,1	22,9	26,0	29,8	20,3

NS – Não Significativo; * e ** significativo, respectivamente, a 5% e 1% de probabilidade.

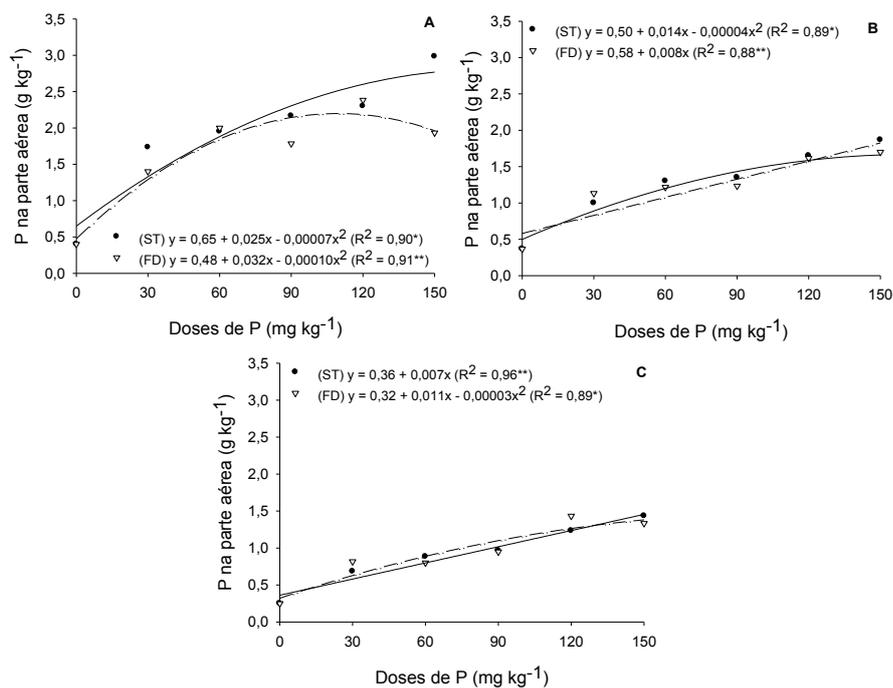


Figura 9. Efeitos das fontes e doses de fósforo nos teores de P na parte aérea do capim-marandu no primeiro, segundo e terceiro crescimentos (A, B e C).

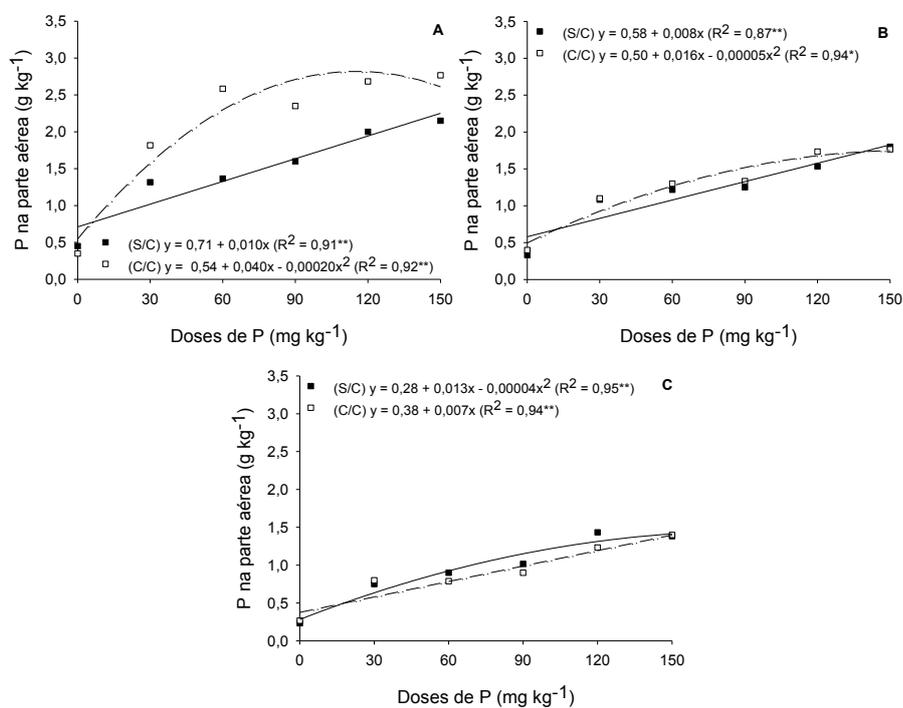


Figura 10. Efeitos da calagem e doses de fósforo nos teores de P na parte aérea do capim-marandu no primeiro, segundo e terceiro crescimentos (A, B e C).

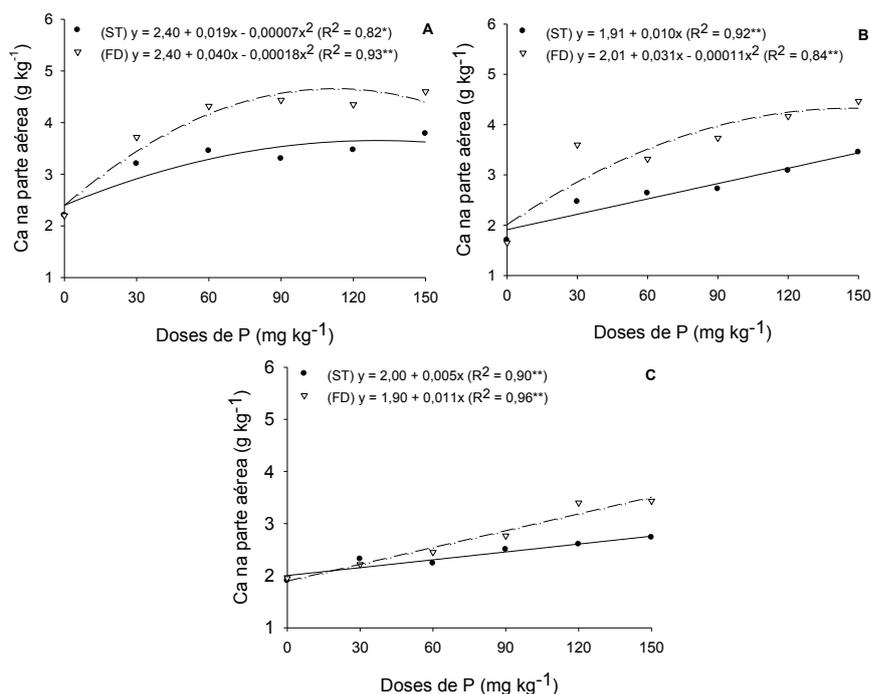


Figura 11. Efeitos da fontes e doses de fósforo nos teores de Ca na parte aérea do capim-marandu no primeiro, segundo e terceiro crescimentos (A, B e C).

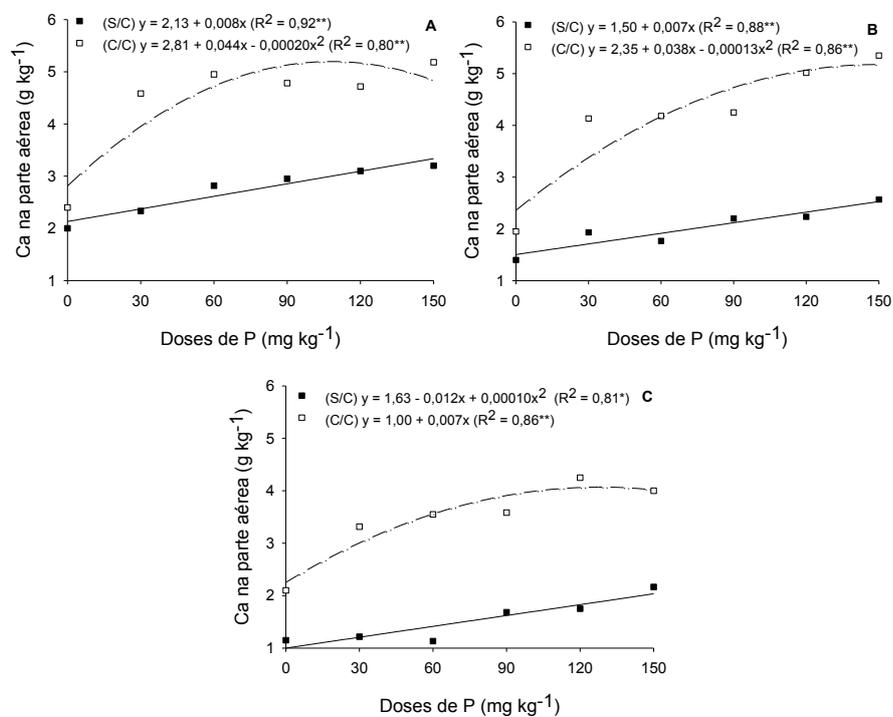


Figura 12. Efeitos da calagem e doses de fósforo nos teores de Ca na parte aérea do capim-marandu no primeiro, segundo e terceiro crescimentos (A, B e C).

Para os teores de K, S, e Cu na parte aérea, não foi constatado nenhuma alteração significativa em função da calagem, fontes e doses de P, bem como para as interações entre esses fatores (Tabela 5), sendo que os teores desses nutrientes encontram-se dentro ou acima da faixa de teores considerada adequada para *Brachiaria brizantha* por Werner et al. (1996).

Os teores de Mn na parte aérea somente foram alterados pela aplicação do calcário, com redução significativa dos seus valores em todos crescimentos quando a calagem foi realizada (Tabela 5). Foi verificado também que os teores de Zn na parte aérea sofreram redução com o aumento das doses de P em todos crescimentos (Figura 13), e que foram diminuídos com a calagem após o primeiro crescimento (Tabela 5). Nesse experimento, independentemente da calagem, os teores de Mn e Zn na parte aérea do capim-marandu estiveram acima da faixa considerada adequada por Werner et al. (1996). Ressalta-se que não foi observado nenhum tipo de sintoma de deficiência ou toxidez por micronutriente em todo o experimento.

Tabela 5. Efeitos da calagem e das doses e fontes de fósforo nos teores de K, S, Cu, Mn e Zn na parte aérea do capim-marandu nos três crescimentos.

Fontes de P	K na parte aérea			S na parte aérea			Cu na parte aérea			Mn na parte aérea			Zn parte aérea		
	1°Cr	2°Cr	3°Cr	1°Cr	2°Cr	3°Cr	1°Cr	2°Cr	3°Cr	1°Cr	2°Cr	3°Cr	1°Cr	2°Cr	3°Cr
	----- g kg ⁻¹ -----			----- g kg ⁻¹ -----			----- mg kg ⁻¹ -----			----- mg kg ⁻¹ -----			----- mg kg ⁻¹ -----		
ST	32,6a	26,3a	26,9a	2,8a	1,4a	1,8a	12a	8a	8a	103a	93a	122a	121a	66a	66a
FD	33,0a	26,9a	27,4a	2,9a	1,4a	1,8a	12a	8a	8a	100a	93a	126a	122a	65a	65a
Teste F	0,06 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,31 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,41 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,28 ^{NS}
Calagem															
Ausente	33,0a	26,7a	27,2a	2,9a	1,4a	1,8a	12a	8a	8a	132	126a	136a	127a	79b	78a
Presente	32,6a	26,5a	27,1a	2,9a	1,4a	1,8a	12a	8a	8a	70b	60b	112b	116a	51a	52b
Teste F	0,03 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,06 ^{NS}	41,40 ^{**}	242,01 ^{**}	16,43 ^{**}	1,83 ^{NS}	91,13 ^{**}	70,56 ^{**}
Doses de P (mg kg ⁻¹)															
0	32,9	27,8	26,4	2,9	1,4	1,8	13	9	9	101	94	122	139	79	84
30	32,4	26,6	26,1	2,8	1,4	1,8	12	8	8	105	90	126	123	65	64
60	33,1	27,1	28,1	2,9	1,4	1,8	12	8	8	100	94	125	122	62	61
90	33,0	26,6	26,6	2,9	1,5	1,8	12	8	8	100	95	123	119	64	63
120	32,7	25,0	28,6	2,9	1,5	1,8	12	9	8	99	94	126	114	61	60
150	32,9	26,4	27,0	2,9	1,5	1,8	12	8	8	103	93	121	108	61	60
Teste F	0,01 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,48 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,22 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,23 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,31 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,96 ^{NS}	3,53 ^{**}	6,06 ^{**}
(F x C)	0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,00 ^{NS}
(F x D)	0,01 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,37 ^{NS}	0,22 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,64 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,68 ^{NS}	0,21 ^{NS}
(C x D)	0,04 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,12 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,12 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,49 ^{NS}	0,51 ^{NS}
(F x C x D)	0,03 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,35 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,21 ^{NS}
C.V. (%)	24,3	23,7	18,7	31,9	22,5	19,8	32,9	40,5	43,2	40,1	19,2	20,1	29,6	19,2	20,2

NS – Não Significativo; ** significativo a 1% de probabilidade.

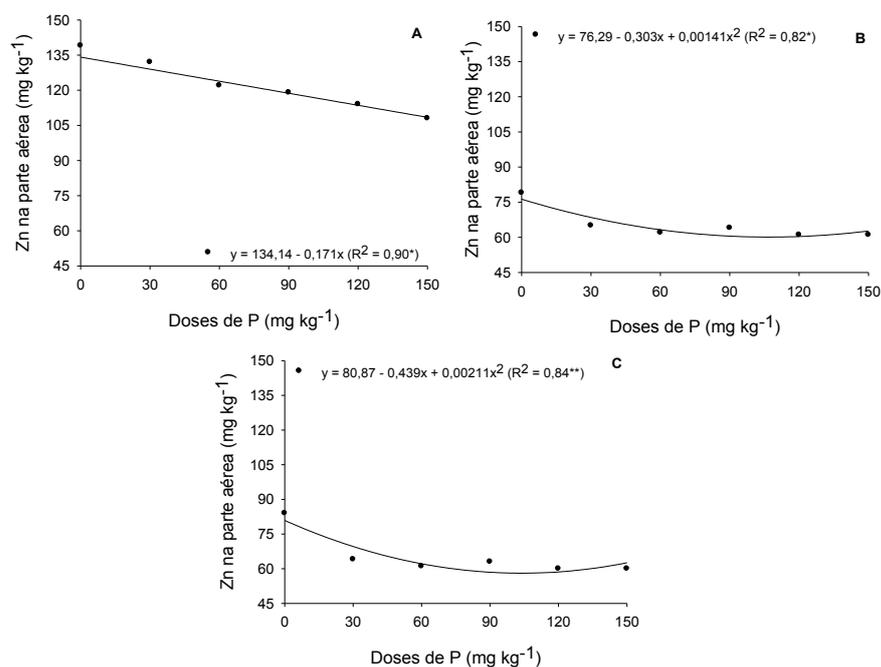


Figura 13. Efeitos de doses de fósforo nos teores de Zn na parte aérea do capim-marandu no primeiro, segundo e terceiro crescimentos (A, B e C).

4.3. No perfilhamento e na produção de massa seca da parte aérea

Na avaliação no perfilhamento do capim-marandu (Tabela 6), verificou-se que a adubação fosfatada incrementou significativamente o número de perfilhos produzidos por crescimento. Por meio dos desdobramentos das interações F x D (Figura 14), verificou-se que o número de perfilhos produzidos por crescimento (dinâmica do perfilhamento) foi incrementado com as doses crescentes de P em todos os crescimentos independentemente do fertilizante. Além disso, o FD foi inferior ao ST na produção de perfilhos apenas no primeiro crescimento, sendo que, no segundo e terceiro crescimentos, os fertilizantes não tiveram diferenças significativas quanto à produção de perfilhos. Desse modo, pode-se inferir que os maiores teores de P na parte aérea proporcionados pelo ST comparado ao FD, no primeiro crescimento, proporcionaram maior número de perfilhos, sendo o primeiro crescimento determinante nos resultados da produção de perfilhos na soma dos crescimentos já que, após o primeiro crescimento, os fertilizantes foram semelhantes quanto ao fornecimento de P às plantas e à produção de perfilhos. Destaca-se também que o

número de perfilhos produzidos por crescimento foi reduzido do primeiro para o segundo e o terceiro crescimentos, o que evidencia a importância da adubação fosfatada na implantação de pastagens. Nas condições desse experimento, verificou-se maior relação dos teores de P na parte aérea da planta com a dinâmica do perfilhamento do que com o número total de perfilhos em cada crescimento (densidade populacional), o que justifica a escolha por apresentar os resultados do número de perfilhos produzidos por crescimento.

Tabela 6. Efeitos da calagem e das fontes e doses de fósforo no número de perfilhos produzidos por crescimento do capim-marandu.

Fontes de P	Número de perfilhos/crescimento			
	1ºCr	2ºCr	3ºCr	Soma
	----- perfilhos/vaso -----			
ST	14a	4a	7a	26a
FD	12b	4a	7a	23b
Teste F	28,03**	0,65 ^{NS}	0,52 ^{NS}	12,89**
Calagem				
Ausente	15a	4a	8a	27a
Presente	11b	4a	7a	22b
Teste F	56,69**	2,25 ^{NS}	1,56 ^{NS}	49,96**
Doses de P (mg kg ⁻¹)				
0	4	1	1	6
30	12	4	6	22
60	13	5	7	25
90	16	5	8	29
120	16	6	9	32
150	16	5	10	32
Teste F	66,10**	7,64**	13,61**	113,81**
(F x C)	0,22 ^{NS}	21,26**	0,04 ^{NS}	6,41*
(F x D)	3,39*	1,59 ^{NS}	0,83 ^{NS}	1,62 ^{NS}
(C x D)	3,44**	2,33 ^{NS}	2,17 ^{NS}	3,68**
(F x C x D)	1,36 ^{NS}	0,95 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,82 ^{NS}
C.V. (%)	15,6	46,6	43,9	12,8

NS – Não Significativo; * e ** significativo, respectivamente, a 5% e 1% de probabilidade.

Segundo Guss et al. (1990), a capacidade produtiva de pastagens está intimamente relacionada ao fornecimento de P às plantas devido a importância desse nutriente na produção de perfilhos. Constituinte do ácido nucleico (ADN e RNA de enzima e co-enzimas), o P é importante nos processos de fotossíntese, respiração,

transferência de energia e divisão e desenvolvimento do tecido meristemático das células das plantas (MARSCHNER, 2012), estando dessa forma esse nutriente associado ao perfilhamento. Nesse sentido, também foi constatado que naqueles tratamentos que não receberam a adubação fosfatada, as plantas de capim-marandu praticamente não perfilharam (Tabela 6), confirmando a contribuição do P no perfilhamento. Esses resultados corroboram com os estudos de Nascimento et al. (2002), Mesquita et al. (2004), Guedes et al. (2009) e Guedes et al. (2012), que também verificaram pequena produção de perfilhos nos tratamentos testemunha.

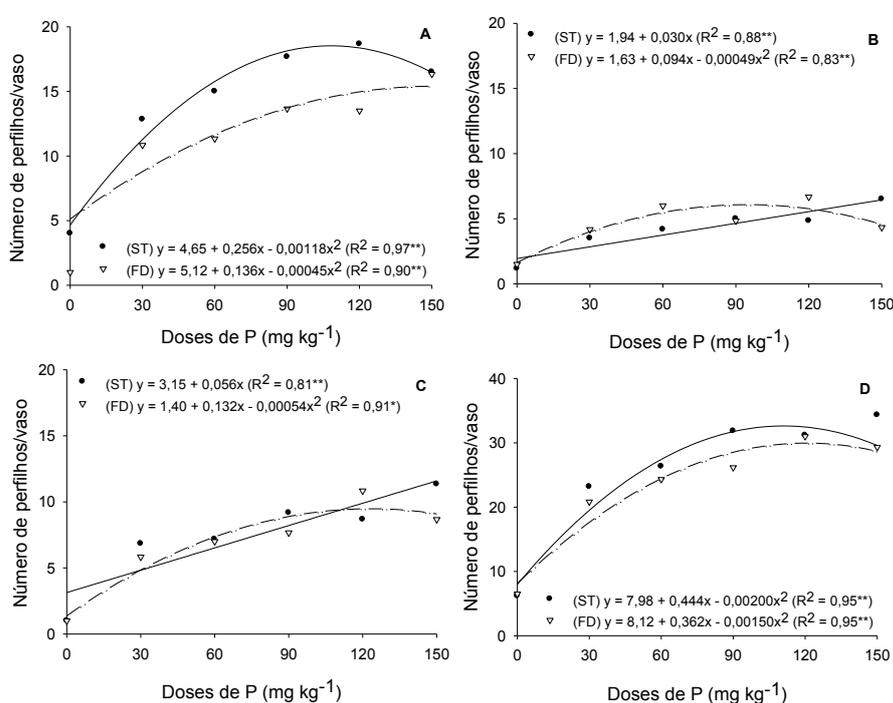


Figura 14. Efeitos das fontes e doses de fósforo no número de perfilhos produzidos no primeiro, segundo e terceiro crescimentos pelo capim-marandu (A, B e C) e na soma dos crescimentos (D).

Na avaliação da produção de massa seca da parte aérea (Tabela 7), verificou-se comportamento semelhante ao do número de perfilhos para a interação F x D (Figura 15). Em todos os crescimentos, a produção de massa seca da parte aérea ajustou-se a equações de segundo grau em função das doses de P aplicadas, sendo que no primeiro crescimento, o FD foi inferior ao ST na produção de massa seca e, após o primeiro crescimento, os dois fertilizantes resultaram em produções próximas de massa seca da parte aérea do capim-marandu. No entanto, na soma dos crescimentos, constatou-se que o FD proporcionou menor produção de massa seca

da parte aérea do que o ST, reafirmando a contribuição do primeiro crescimento na menor produção do capim-marandu quando utilizado o FD em relação ao ST. De acordo com Maya et al. (2001), a densidade populacional de perfilhos está fortemente associada à produção de massa seca de espécies forrageiras.

Tabela 7. Efeitos da calagem e das fontes e doses de fósforo na produção de massa seca da parte aérea nos três crescimentos e na soma dos crescimentos.

Fontes de P	Massa seca parte aérea			
	1ºCr	2ºCr	3ºCr	Soma
	----- g/vaso -----			
ST	4,21a	8,27a	4,34a	16,82a
FD	3,58b	7,99a	4,05a	15,62b
Teste F	7,00*	1,26 ^{NS}	1,34 ^{NS}	6,08*
Calagem				
Ausente	5,28a	8,04a	3,98a	17,30a
Presente	2,51b	8,21a	4,42a	15,13b
Teste F	133,43**	0,46 ^{NS}	3,17 ^{NS}	19,72**
Doses de P (mg kg ⁻¹)				
0	0,13	0,21	0,42	0,77
30	3,20	8,24	2,92	14,36
60	4,37	9,34	4,55	18,27
90	4,80	10,01	5,16	19,98
120	5,31	10,28	5,35	20,95
150	5,55	10,66	6,77	22,99
Teste F	47,61**	169,43**	54,91**	185,70**
(F x C)	8,17**	4,81*	18,95**	22,44**
(F x D)	0,84 ^{NS}	1,85 ^{NS}	0,88 ^{NS}	1,76 ^{NS}
(C x D)	8,48**	2,58*	2,52*	4,08**
(F x C x D)	2,31 ^{NS}	0,44 ^{NS}	1,29 ^{NS}	1,24 ^{NS}
C.V. (%)	26,1	13,0	24,9	12,7

NS – Não Significativo; * e ** significativo, respectivamente, a 5% e 1% de probabilidade

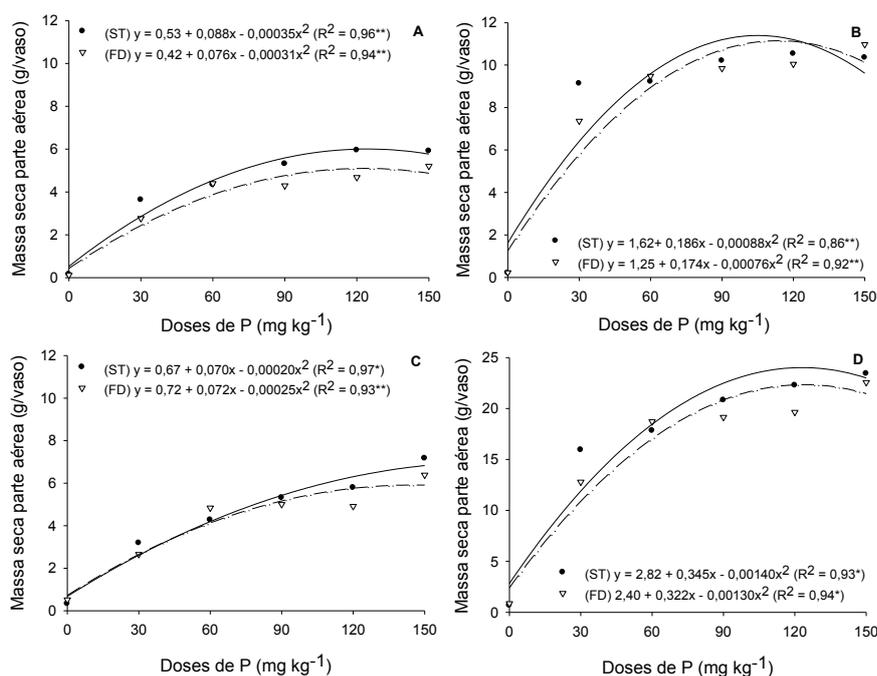


Figura 15. Efeitos das fontes e doses de fósforo na produção de massa seca da parte aérea no primeiro, segundo, terceiro crescimentos do capim-marandu (A, B e C) e na soma dos crescimentos (D).

Por meio dos desdobramentos das interações C x D (Figura 16), constatou-se que, quando considerada a soma dos crescimentos, o número de perfilhos foi ajustado a equações do segundo grau independentemente da calagem, sendo que os tratamentos com calagem proporcionaram menor produção de perfilhos do que aqueles que não receberam o corretivo. Destaca-se que o número de perfilhos não foi aumentado com a calagem, embora essa tenha elevado significativamente, no primeiro crescimento, os teores de P no solo e na parte aérea do capim-marandu. Após o primeiro crescimento, não houve alterações significativas no número de perfilhos em função da calagem, o que condiz com os teores de P no solo e na parte aérea das plantas que tiveram o mesmo comportamento. Comportamento semelhante ocorreu para a produção de massa seca da parte aérea (Figura 17), que teve aumento da produção de massa seca da parte aérea em função das doses de P, ajustando-se a equações de segundo grau na soma dos crescimentos, independentemente da calagem, porém com os tratamentos que receberam calcário apresentando as menores produções de massa seca da parte aérea. Diversos trabalhos verificaram ajustes a equações de segundo grau da produção de massa seca de espécies do

gênero *Brachiaria* em função do aumento das doses de P (MESQUITA et al., 2004; GUEDES et al., 2009; GUEDES et al., 2012).

Na soma dos crescimentos, as produções máximas de massa seca da parte aérea, 24 e 22 gramas por vaso, foram alcançadas com as doses de 110 e 140 mg kg⁻¹ de P para os tratamentos sem calagem e com calagem, respectivamente. Essas mesmas doses proporcionaram os maiores números de perfilhos, 35 e 29 perfilhos por vaso, para os respectivos tratamentos na soma dos crescimentos.

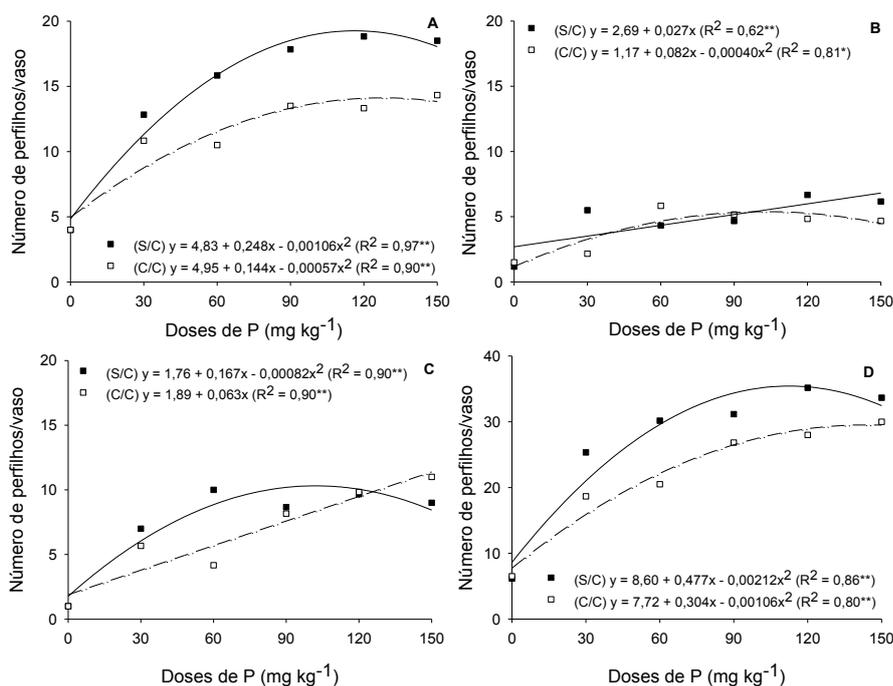


Figura 16. Efeitos da calagem e doses de fósforo no número de perfilhos produzidos no primeiro, segundo e terceiro crescimentos pelo capim-marandu (A, B e C) e na soma dos crescimentos (D).

É importante destacar que a menor produção de perfilhos e massa seca da parte aérea daqueles tratamentos que receberam calcário possivelmente não pode ser atribuída a redução dos teores dos micronutrientes na parte aérea das plantas ocasionados pela aplicação do corretivo, já que tanto o Cu, Mn e o Zn encontram-se dentro ou acima da faixa de teores consideradas adequadas. No caso específico do Zn, a redução dos seus teores na parte aérea em função do aumento das doses de P pode estar relacionada ao efeito de diluição, visto que os incrementos nas doses de P foram acompanhados por aumentos na produção de massa seca da parte aérea do capim-marandu. Outro ponto relevante é que a calagem foi capaz de elevar a

saturação por bases próxima de 80%, reduzir a acidez do solo (pH 5,6 em CaCl₂) e fornecer Ca e Mg às plantas, porém esses benefícios não tiveram como consequência maiores produções do capim-marandu em comparação às plantas em condições de solo ácido.

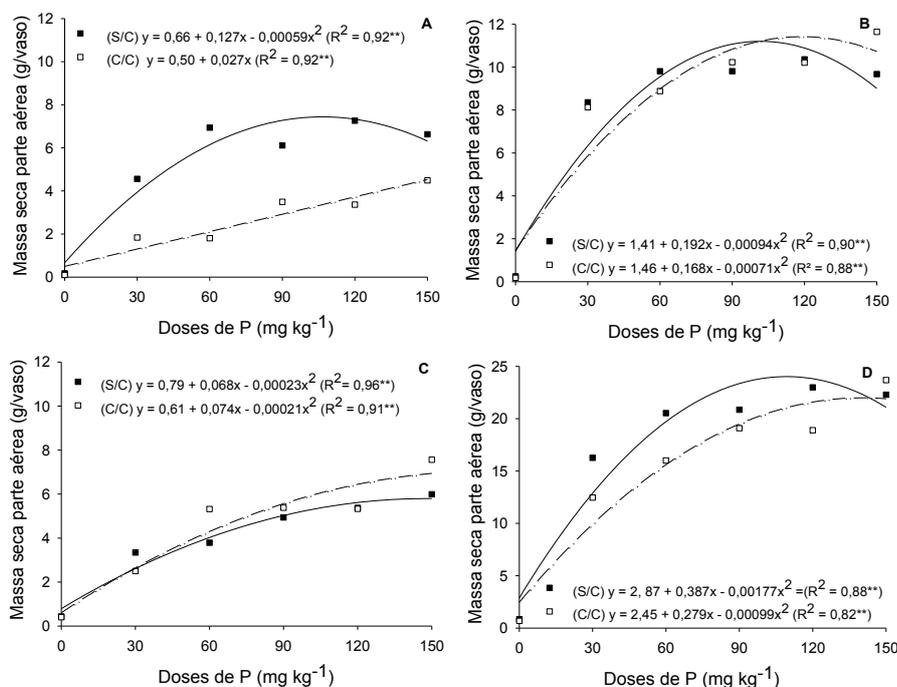


Figura 17. Efeitos da calagem e doses de fósforo na produção de massa seca da parte aérea no primeiro, segundo e terceiro crescimentos do capim-marandu (A, B e C) e na soma dos crescimentos (D).

Nesse sentido, Fonseca et al. (2009) verificaram decréscimo linear da produção de massa seca da parte aérea do capim-marandu com os incrementos das doses de calcário, sendo que a dose de calcário que proporcionou maior produção de massa seca correspondeu a metade da dose indicada para elevar a saturação por bases a 60% conforme sugerido por Werner et al. (1996). Segundo os mesmos autores, esses resultados estão associados a capacidade do capim-marandu em obter a produção máxima de massa seca com valores baixos de saturação por bases e a alta adaptação dessa espécie aos solos de reação ácida, o que é relatado na literatura por Macedo (2004), Monteiro e Euclides (2005) e Foloni et al. (2008). Dessa forma, pode-se inferir que, no presente experimento, os resultados verificados para a calagem quanto à produção de perfilhos e massa seca da parte aérea podem estar relacionados a grande capacidade do capim-marandu em se desenvolver em solos ácidos.

No entanto, quando estudado o comportamento das fontes em função da calagem (interação F x C) (Tabela 8) no número de perfilhos, verificou-se que, na soma dos crescimentos, os fertilizantes não diferiram significativamente quanto ao número de perfilhos quando não aplicado calcário. Porém, quando o solo recebeu esse corretivo, o FD foi inferior ao ST na produção de perfilhos. Não foi verificada interação significativa F x C para número de perfilhos por crescimento no primeiro crescimento e terceiro crescimento. Destaca-se que os fertilizantes proporcionaram menor perfilhamento do capim-marandu quando aplicado calcário. Esses resultados acompanharam o comportamento dos teores de P no solo, em que o FD proporcionou, na primeira amostragem de solo, os menores teores desse nutriente em relação ao ST quando aplicado calcário ao solo, sendo que, sem a calagem, os fertilizantes não diferiram quanto aos teores de P no solo (Tabela 2). Não houve interação significativa F x C para os teores de P na parte aérea, o que restringe a discussão às interações F x D e C x D, dificultando explicar a relação P no solo, na parte aérea e o número de perfilhos por crescimento do capim-marandu.

Para a produção de massa seca da parte aérea, o comportamento das fontes em função da calagem (interação F x C) foi semelhante ao verificado para o número de perfilhos (Tabela 8). Em solo ácido, as fontes não diferiram na produção de massa seca da parte aérea, exceto no terceiro crescimento em que o FD foi superior ao ST na produção de massa seca da parte aérea, o que pode estar relacionado aos efeitos do FD no aumento do pH e na redução da acidez potencial do solo e no fornecimento de Ca às plantas, já que os teores de P na parte aérea não diferiram significativamente entre os fertilizantes nesse crescimento. Porém, quando o solo recebeu calcário, o FD foi significativamente inferior ao ST na produção de massa seca da forrageira em todos os crescimentos, levando na soma do crescimentos a uma produção menor de massa seca da parte aérea. Destaca-se que, para o ST, a menor produção de perfilhos quando aplicado o corretivo da acidez do solo, não teve como consequência a redução na produção de massa seca da parte aérea do capim-marandu na soma dos crescimentos. Esse fato pode estar relacionado ao fato de que, após o primeiro crescimento, o ST proporcionou perfilhos mais pesados que acarretaram em produções maiores de massa seca da parte aérea dos tratamentos que receberam calcário em comparação aqueles que não tiveram aplicação do corretivo.

Tabela 8. Desdobramentos das interações significativas fonte de P e calagem (F x C) para a produção de massa seca da parte aérea e o número de perfilhos produzidos por crescimento.

Fontes de P	1°Cr		2°Cr		3°Cr		Soma	
	S/C	C/C	S/C	C/C	S/C	C/C	S/C	C/C
Massa seca parte aérea (g/vaso)								
ST	5,25 aA	3,17 aB	7,91 aB	8,63 aA	3,58 bB	5,09 aA	16,75 aA	16,89 aA
FD	5,30 aA	1,85 bB	8,18 aA	7,80 bA	4,37 aA	3,74 bA	17,84 aA	13,39 bB
Perfilhos/crescimento (perfilhos/vaso)								
ST	16 aA	12 aA	3 bB	5 aA	8 aA	7 aA	27 aA	24aB
FD	13 aA	10 aA	6 aA	3 bB	7 aA	6 aA	27aA	20bB

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, e maiúscula na linha, indicam que as mesmas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Nesse tipo de estudo, é bastante sugestivo estabelecer-se o nível crítico de P no solo e na parte aérea da planta. Na Figura 18, é apresentada a relação entre a produção relativa e os teores de P no solo e na parte aérea do capim-marandu. Os níveis críticos determinados desse nutriente no solo e na parte aérea da planta foram 15 mg dm^{-3} e $1,2 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. O valor de nível crítico de P no solo se enquadra dentro da faixa de teores de P da classe baixa de fertilidade do solo (7 a 15 mg dm^{-3}) mencionada por Raij et al. (1996), a qual foi estabelecida para culturas anuais, porém que é utilizada para espécies forrageiras. Na parte aérea da planta, o valor de nível crítico está dentro da faixa sugerida por Werner et al. (1996) para *Brachiaria brizantha* ($0,8$ a $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ de P).

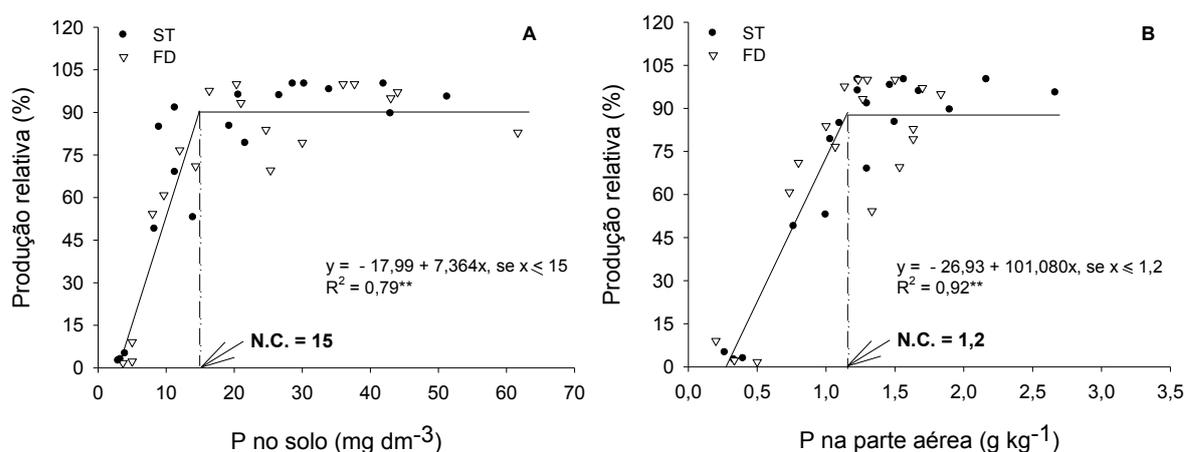


Figura 18. Níveis críticos de P no solo (A) e na parte aérea do capim-marandu (B).

Por outro lado, é bastante interessante estabelecer índices para comparar as fontes de P. Assim, utilizou-se a metodologia sugerida por Goedert, Souza e Rein (1986), tendo-se a curva de resposta do ST como referência. Na Tabela 9, são apresentadas as equações ajustadas que melhor descrevem as curvas de resposta em função de cada fonte de P, onde x representa as doses de P utilizadas, e y_1 e y_2 correspondem às produções de massa seca da parte aérea do capim-marandu proporcionadas respectivamente pelo ST e o FD.

Por meio do EqST médio (Tabela 10), constatou-se que, na soma dos crescimentos, o FD apresentou maior eficiência em relação ao ST quando não aplicado calcário e, menor quando o solo recebeu esse corretivo. Destaca-se que, nos três crescimentos, os EqST médio proporcionados pelo FD foram iguais ou superiores aqueles verificados para o ST quando os tratamentos não receberam calcário, o que possivelmente pode estar relacionado ao fato de que a solubilização do P proveniente do FD tenha sido favorecida pela maior acidez do solo. Porém, quando os solos receberam o corretivo da acidez, verificou-se que, no primeiro crescimento, o FD obteve o menor EqST médio observado nesse experimento, sendo esse índice elevado a valor superior ao ST no segundo crescimento e, novamente, reduzido a valor inferior após esse crescimento. Dessa forma, sugere-se que a eficiência do FD é reduzida com a diminuição da acidez do solo devido ao menor fornecimento de prótons H^+ nessa condição para a solubilização do P dessa fonte, sendo a eficiência aumentada com a redução nos valores de pH do solo com o decorrer dos crescimentos, o que foi observado nesse experimento. No entanto, embora o aumento da acidez possa implicar no melhor aproveitamento de P proveniente do FD, essa também pode intensificar as reações de adsorção desse nutriente ao solo, fazendo com os índices de EqST médio sejam reduzidos após o segundo crescimento. Ressalta-se que o maior fornecimento de Ca às plantas em comparação ao ST e a redução da acidez potencial ocasionados pelo FD também podem ter contribuído para o aumento da eficiência desse fertilizante em todos os crescimentos.

Por meio desses resultados, é possível verificar que os valores de EER obtidos para o FD foram sempre maiores que 100%, com exceção do primeiro crescimento em que o FD apresentou valor de EER menor que 100% quando aplicado calcário ao solo. O menor índice de EER constatado nessa situação acompanhou a menor produção de massa seca da parte aérea do capim-marandu, evidenciando a contribuição da correção da acidez no primeiro crescimento para a redução dos índices de EqST médio e EER. No entanto, quando considerada a soma dos crescimentos, verificou-se que o valor de EER para o FD foi superior a 100% mesmo quando os solos receberam calcário, mostrando que os estudos sobre efeitos de fontes de P devem considerar o efeito inicial do fertilizante, mas também o seu efeito residual. Os tratamentos que não receberam o calcário apresentaram os maiores índices de EER comparados aqueles em que esse corretivo foi aplicado. Dessa forma, salienta-se que a eficiência econômica do FD pode ser reduzida com a diminuição da acidez do solo.

5. CONCLUSÕES

1. A adubação fosfatada promoveu incrementos significativos na produção de perfilhos e de massa seca da parte aérea do capim-marandu, sendo que o FD não diferiu significativamente do ST na ausência de calcário, porém foi significativamente inferior na presença desse corretivo.
2. O fornecimento de P ao solo pelo FD é favorecida pela acidez do solo que foi aumentada com o decorrer do experimento.
3. Os níveis críticos de P no solo e na parte aérea do capim-marandu foram 15 mg dm^{-3} e $1,2 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente.

6. REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. C. **Metodologia oficial de Análise de Corretivos de Acidez**. Porto Alegre: Genesis, 2009. 58 p.

ALVAREZ, V. H. V. **Avaliação da fertilidade do solo (superfícies de resposta modelos aproximativos pra expressar a relação fator-resposta)**. 3. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1994. 75 p.

ANDA (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS). **Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2012**. São Paulo, 2012. 176 p.

ARAÚJO, S. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; GARBUIO, F. J. Aplicação de calcário com diferentes graus de reatividade: alterações químicas no solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1755-1764, 2009.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability - a mechanistic approach**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1995. 414 p.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).

BELARMINO, M. C. J.; PINTO, J. C.; ROCHA, G. P.; FURTINI NETO, A. E.; MORAIS, A. R. Altura de perfilho e rendimento de matéria seca de capim-tanzânia em função de diferentes doses de superfosfato simples e sulfato de amônio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 4, p. 879-885, 2003.

BONFIM, E. M. S.; FREIRE, F. J.; SANTOS, M. V. F.; SILVA, T. J. A.; FREIRE, M. B. G. S. Níveis críticos de fósforo para *Brachiaria brizantha* e suas relações com características físicas e químicas em solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 281-288, 2004.

BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; GONÇALVES, G. K.; SOUSA, R. O.; SCHLINDWEIN, J. A. Efficiency of phosphate rock to southern Brazil lowland rice soil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 5, n. 1, p. 43-49, 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais**. Brasília, DF, 1983. 104 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 21, 16 de abril de 2008. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 de abr. de 2008. Seção 1. Retificação Pública em 25 abr. 2008. Seção 1. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 20 set. 2013.

CALHEIROS, A. C.; LIRA JUNIOR, M. A.; SOARES, D. M.; FIGUEIREDO, M. V. B. Symbiotic capability of calopo rhizobia from an agrisoil with different crops in Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 4, p. 869-876, 2013.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. rev. e atualiz. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106).

CECATO, U.; SKROBOT, V. D.; FAKIR, G. M.; JOBIM, C. C.; BRANCO, A. F., GALBEIRO, S.; JANEIRO, V. Características morfogênicas do capim Mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) adubado com fontes de fósforo, sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1699-1706, 2007

CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 41, n. 2, p. 227-234, 1995.

CORRÊA, L. A.; HAAG, H. P. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras em Latossolo Vermelho Amarelo, álico: II. Experimento de Campo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 50, n. 1, p. 109-116, 1993.

CORSI, M.; NASCIMENTO JUNIOR, D. Princípios de fisiologia e morfologia de plantas forrageiras aplicados ao manejo das pastagens. In: PEIXOTO, A. M. MOURA, J. C.; FARIA, F. P. (Ed.). **Pastagens: fundamentos da exploração racional**. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 15-48.

CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; MAUAD, M. SILVA, A. C. L. Desenvolvimento radicular e aéreo, nutrição e eficiência de absorção de macronutrientes e zinco por cultivares de arroz de terras altas afetadas pela adubação fosfatada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2061-2076, 2013.

CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; LUCHETTA, S. Efeito da calagem sobre três gramíneas forrageiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 8, p. 1303-1312, 1994.

DAVIES, A. Tissue turnover in the sward measurement handbook. In: HODSON, J.; BAKER, R. D.; DAVIES, A.; LAIDLAW, A. S.; LEAVER, J. D. (Ed.). **Sward measurement handbook**. Hurley: The British Grassland Society, 1981. p. 197-209.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Documentos, 132).

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013. 353 p.

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**, Viçosa, MG, v. 25, n. 4, p. 939-946, 2001.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. **Physiology of crop production**. New York: The Haworth Press, 2006. 345 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1997. 624 p.

FAQUIN, V.; ROSSI, C.; CURI, N.; EVANGELISTA, A. R. Nutrição mineral em fósforo, cálcio e magnésio do braquiário em amostra de latossolo dos campos das vertentes sob influência da calagem e fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 26, n. 6, p. 1074-1082, 1997.

FÖHSE, D.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. I - External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 110, n. 1, p. 101-109, 1988.

FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S.; CALONEGO, J. C.; JUNIOR, J. A. Rock phosphate fertilization and phosphorus recycling by pearl millet, *Brachiaria* sp., corn and soybean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 1147-1155, 2008.

FONSECA, I. M.; PRADO, R. M.; NOGUEIRA, T. A. R.; BARBOSA, J. C. Macronutrients in marandu palisade grass as influenced by lime, slag, and nitrogen fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 42, n. 7, p. 844-857, 2011.

FONSECA, I. M.; PRADO, R. M.; VIDAL, A. A.; NOGUEIRA, T. A. R. Efeito da escória, calcário e nitrogênio na absorção de silício e na produção do capim-marandu. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 221-232, 2009.

FORTES, C. A.; PINTO, J. C.; FURTINI NETO, A. E.; MORAIS, A. E.; EVANGELISTA, A. R.; SOUZA, R. M. Níveis de silicato de cálcio e magnésio na produção das gramíneas Marandu e Tanzânia em um Neossolo Quartzarênico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 267-274, 2008.

GALDINO, C. A. B.; SANTOS, E. M.; PINHEIRO, J. I.; MARQUES JÚNIOR, S.; RAMOS, R. E. B. Passivo ambiental: revisão teórica de custos na indústria do petróleo. **Revista Produção**, São Paulo, v. 14, n. 1, 2004.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Agronomic evaluation of phosphates in soil of Brazilian savanna. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 8, n. 1, p. 97-102, 1984.

GOEDERT, W. J.; REIN, T. A.; SOUZA, D. M. G. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais, parcialmente acidulados e termofosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, MG, v. 25, n. 4, p. 521-530, 1990.

GOEDERT, W. J.; SOUZA, M. G. de; REIN, T. A. **Princípios metodológicos para avaliação agrônômica de fontes de fósforo**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1986. 23 p.

GOMIDE, J. A.; ZAGO, C. P.; RIBEIRO, A. C.; BRAGA, J. M.; MARTINS, O. Calagem, fontes e níveis de fósforo no estabelecimento e produção de capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq) no cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 15, n. 3, p. 241-246, 1986.

GUEDES, E. M. S.; 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 brizanta* em Latossolo amarelo sob pastagem degradada na Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 52, n. 1, p. 117-129, 2009.

GUEDES, E. M. S.; FERNANDES, A. R.; LOBATO, A. K. S.; GUEDES, R. S.; ÁVILA, W. S.; SILVA, S. P. Natural phosphate and liming improves phosphorus extraction in two tropical grasses grown in degraded Amazon soil. **International Journal of Food, Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 10, n. 3-4, p. 1165-1168, 2012.

GUSS, A.; GOMIDE, J. A.; NOVAIS, R. F. Exigência de fósforo para o estabelecimento de quatro espécies de *Brachiaria* em solos com características físico-químicas distintas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 19, n. 4, p. 278-289, 1990.

HANAFI, M. M.; SYERS, J. K. Agronomic and economic effectiveness of two phosphate rock materials in acid Malaysian soils. **Tropical Agriculture**, Saint Augustine, v. 71, n. 4, p. 254-259, 1994.

HAYNES, R. J. Lime and phosphate in the soil plant system. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v. 37, n. 3, p. 249-315, 1984.

HE, Z. L.; BALIGAR, V. C.; MARTENS, D. C.; RITCHEY, K. D.; KEMPER, K. D. Factors affecting phosphate rock dissolution in acid soil amended with liming materials and cellulose. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 60, n. 5, p. 1595-1601, 1996.

HORGAN, J. M.; WAERING, P. F. Cytokinins and the growth responses of seedlings of *Betula pendula* Roth. and *Acer pseudoplatanus* L. to nitrogen and phosphorus deficiency. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 31, n. 2, p. 525-532, 1980.

IEIRI, 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**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1154-1160, 2010.

LANGER, R. H. **How grasses grow**. London: Edward Arnold, 1972. 60 p.

LOPES, A. S.; DA SILVA, C. A. P.; BASTOS, A. R. R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo. In: YAMADA, T.; STIPP, E.; ABDALLA, S. R. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 13-34.

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**, Viçosa, MG, v. 40, n. 12, p. 2658-2665, 2011.

LÓPEZ-RÁEZ, J. A.; CHARNIKHOVA, T.; GÓMEZ-ROLDÁN, V.; MATUSOVA, R.; KOHLEN, W.; DE VOS, R.; VERSTAPPEN, F.; PUECH-PAGES, V.; BÉCARD, G.; MULDER, P.; BOUWMEESTER, H. Tomato strigolactones are derived from carotenoids and their biosynthesis is promoted by phosphate starvation. **New Phytologist**, Oxford, v. 178, n. 4, p. 863–874, 2008.

MACEDO, M. C. M. Adubação fosfatada em pastagens cultivadas com ênfase na região do Cerrado. In: YAMADA, T.; STIPP, E.; ABDALLA, S. R. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 359-396.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELLO, F. A. F. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo: Pioneira, 1974. 727 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E. Reação do solo e crescimento das plantas. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1984, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Cargill, 1984. p. 03-57.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Elsevier, 2012. 643 p.

MARTINS, L. E. C.; MONTEIRO, F. A.; PEDREIRA, B. C. Metabolic change, tillering and root system of *Brachiaria brizantha* in response to phosphorus and zinc nutrition. **Journal of Plant Nutrition**, Filadélfia, v. 37, n. 4, p. 509-519, 2014.

MARTUSCELLO, J. A.; FONSECA, D. M.; MOREIRA, L. M.; RUPPIN, R. F.; CUNHA, D. N. F. Níveis críticos de fósforo no solo e na parte aérea no estabelecimento de capim- elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 10, p. 1878-1885, 2009.

MAYA, F. L. A.; CABRAL, S. B.; SANTOS, P. M.; CORSI, M. Determinantes da produção de matéria seca ao longo do estabelecimento do capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.): densidade populacional de perfilhos x massa por perfilho. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. 1 CDROM.

McBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. New York: University Press, 1994. 406 p.

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

MESQUITA, E. E.; PINTO, J. C.; FURTINI NETO, A. E.; SANTOS, I. P. A.; TAVAREZS, 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**, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p. 290-301, 2004.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F. DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 209-248.

MONTEIRO, F. A.; EUCLIDES, V. P. B. Adubação de plantas forrageiras na produção e qualidade forrageira. In: VOLUMOSOS NA PRODUÇÃO DE RUMINANTES, 1., 2005, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Funep. 2005. p. 159-186.

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

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, P. P. A.; BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, W. S.; CORSI, M. Liming and fertilization for restoring degraded *Brachiaria decumbens* pasture on sandy soil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 125-131, 2003.

OLIVEIRA, P. P. A.; OLIVEIRA, W. S.; CORSI, M. Efeito residual de fertilizantes fosfatados solúveis na recuperação de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Neossolo Quartzarênico. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1715-1728, 2007.

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**, Córdoba, v. 61, n. 235, p. 397-406, 2012.

PATES, 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**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1736-1741, 2007.

PAULINO, V. T.; MALAVOLTA, E.; PIGATO, A. M. Efeito de níveis de fosfógeno, fósforo e calagem sobre o cultivo de capim andropogon (*Andropogon gayanus* Kunth). **Revista da Agricultura**, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 55-90, 1989.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. N.; CORRÊA, L. A.; SILVA, A. G.; CANTARELLA, H. Lixiviação de nitrato em pastagem de *coastcross* adubada com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 683-690, 2006.

QUEIROZ, A. A.; RAMOS, L. A.; KORNDÖRFER, G. H. Saturação de bases, acidez e silicato influenciando a eficiência de adubos fosfatados em solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 75-86, 2009.

RAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, n. 1, p. 665-693, 1999.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1996. 285 p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C. R.; SILVA, C. A.; BOLDRIN, P. F. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p. 335-343, 2009.

SALAS, A.; RIVERO, C.; CASANOVA, E. Fuente del fósforo absorbido y efectividad agronómica relativa en el maíz en un ultisol del estado Cojedes, Venezuela. **Agronomía Tropical**, Maracay, v. 56, n. 1, p. 43-60, 2006.

SANTOS, I. P. A.; PINTO, J. C.; SIQUEIRA, J. O.; MORAIS, A. R.; SANTOS, C. L. Influência do fósforo, micorriza e nitrogênio no conteúdo de minerais de *Brachiaria brizantha* e *Arachis pintoii* consorciados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 605-616, 2002.

SILVA, J. T. A.; SILVA, I. P.; RODAZ, C. L.; CARVALHO, J. G. Critical levels for *Brachiaria brizantha* and *Panicum maximum* using different sources of phosphorus. **Idesia**, Arica, v. 31, n. 1, p. 59-65, 2013.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Brazilian Savanna: soil correction and fertilization**. Planaltina: EMBRAPA, 2002. p. 147-168.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; SOBRINHO, R. R. L.; OLIVEIRA, E. A. B. Influência de esterco bovino e calcário sobre o efeito residual da adubação fosfatada para a *Brachiaria brizantha* cultivada após o feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 1, p. 143-150, 2010.

UMEHARA, M.; HANADA, A.; MAGOME, H.; TAKEDA-KAMIYA, N.; YAMAGUCHI, N. Contribution of strigolactones to the inhibition of tiller bud outgrowth under phosphate deficiency in rice. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 51, n. 7, p. 1118–1126, 2010.

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR; U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries 2013**. Reston, 2013. 198 p. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2013/mcs2013.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2013.

VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Calagem e uso do gesso agrícola em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 3., 1997, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1997. p. 63-111.

WERNER, J. C. **Adubação de pastagens**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1986. 49 p. (Boletim Técnico, 18).

WERNER, J. C. Calagem para plantas forrageiras. In: Simpósio sobre manejo de pastagens, 8., Piracicaba, 1986. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1986. p. 191-198.

WERNER, J. C.; PAULINO, V. T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N. O. A.; QUAGGIO, J. A. Forrageiras. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1996. p. 263–273. (Boletim Técnico, 100).

YONEYAMA, K.; XIE, X.; KUSUMOTO, D.; SEKIMOTO, H.; SUGIMOTO, Y.; TAKEUCHI, Y.; YONEYAMA, K. Nitrogen deficiency as well as phosphorus deficiency in sorghum promotes the production and exudation of 5-deoxystrigol, the

host recognition signal for arbuscular mycorrhizal fungi and root parasites. **Planta**, Heidelberg, v. 227, n. 1, p. 125–132, 2007.

YOST, R. S.; KAMPRATH, E. J.; NADERMAN, G. C.; LOBATO, E. Residual effects of phosphorus adsorbing Oxisol of Central Brazil. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 45, n. 3, p. 540-543, 1981.

ZIMMER, A. H.; MACEDO, M. C. M.; BARCELLOS, A. O.; KICHEL, A. N. Estabelecimento e recuperação de pastagens de *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. 325 p.