

Disponibilidade de fósforo no solo e desenvolvimento inicial de milho em função da aplicação de fontes fosfatadas e calcário

Paula Karolyna Schneider¹; Jordana de Freitas Bento¹; Evandro Luiz Schoninger²

¹ Engenheira Agrônoma. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Câmpus Nova Mutum, MT. paulasch@outlook.com

² Engenheiro Agrônomo. Doutor em Ciências. Professor da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Câmpus de Nova Mutum, MT. schoningerel@unemat.br

Resumo: O objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento de plantas de milho e a disponibilidade de P no solo pelos métodos Mehlich 1 e resina de troca aniônica, em função da aplicação de fontes de P em solos com e sem correção do pH. O experimento foi conduzido na Universidade do Estado de Mato Grosso, Câmpus Nova Mutum – MT, no ano de 2017, em vasos. Os tratamentos foram arranjados em esquema fatorial 4 x 2, sendo três fontes fosfatadas (Phusion[®], TopPhos[®] e MAP) e uma testemunha sem aplicação de P, associado a aplicação ou não de calcário ao solo. Cada tratamento fosfatado, com exceção da testemunha, recebeu a dose equivalente a 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Após 35 dias de cultivo do milho, a parte aérea das plantas de cada vaso foi coletada para mensuração da massa seca e do teor de P e de N no tecido. Nesta época também fez-se a coleta de amostra de solo de cada tratamento, para determinar a disponibilidade de fósforo no solo por dois métodos de extração e determinar os valores de pH. A aplicação de calcário aumentou a eficiência da adubação fosfatada, independentemente da fonte, e aumentou a massa seca da parte aérea de milho. As fontes fosfatadas avaliadas apresentaram eficiência semelhante quanto ao aproveitamento de P pelas plantas. A aplicação de fósforo, independentemente da fonte, aumentou a disponibilidade deste nutriente no solo, seja pela avaliada por Mehlich 1 ou resina trocadora de ânions.

Palavras-chaves: Adubação fosfatada; fertilizantes fosfatados; correção do solo; solos ácidos; *Pennisetum glaucum*.

Phosphorus availability in the soil and initial development of millet as a function of phosphate sources application and limestone

Abstract: This work aimed to evaluate the development of millet plants as a function of the P sources application into soils with and without liming. An experiment was carried out at University of the State of Mato Grosso, Nova Mutum - MT, in 2017, in pots. The treatments were arranged in a 4 x 2 factorial, and the effects of three phosphate sources (Phusion[®], TopPhos[®] and MAP) and a control without phosphorus application, associated with limestone application or not to the soil, were evaluated. Each phosphate treatment, except the control, received the equivalent rate to 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅. After 35 days of millet sowing, shoot dry mass of plants and the P and N content in the tissue were estimated. At this time, soil samples were collected from each treatment to determine the phosphorus availability in the soil by two extraction methods and to determine the pH values. Limestone application increased the phosphate fertilization efficiency, regardless of source, and increased the dry mass of millet. The phosphate sources evaluated showed similar efficiency in the P use by plants. The phosphorus application, regardless of the source, increased the availability of this nutrient in the soil, either that evaluated by Mehlich 1 or anion exchange resin.

Keywords: phosphate fertilization, phosphate fertilizers, soil correction, acid soils, *Pennisetum glaucum*.

Introdução

O cultivo de milho (*Pennisetum glaucum*) e das demais culturas agrícolas no Cerrado somente tornou-se possível graças ao progresso das tecnologias e da melhoria na fertilidade dos solos da região. De origem Africana, essa gramínea vem sendo utilizada como forrageira nos países da América, principalmente como cobertura de proteção do solo contra erosão.

O milho se desenvolve muito bem em situações adversas de clima e solo, podendo se

destacar a elevada tolerância à seca, rápido crescimento, e grande capacidade de extração de nutrientes do solo, devido ao sistema radicular profundo e abundante, promovendo a ciclagem de nutrientes para a camada mais superficial. No Brasil, cerca de 70% dos solos cultivados apresentam alguma limitação de fertilidade e o fósforo é o elemento cuja falta limita mais frequentemente a produção das culturas nos solos ácidos tropicais (SANTOS *et al.*, 2002).

A forma preferencial de absorção de P pelas plantas é através do íon ortofosfato primário (H_2PO_4^-), sendo esta absorção influenciada diretamente pelo pH do solo. A maior disponibilidade de fósforo no solo está na faixa de pH 5,5 a 6,8 (TISDALE *et al.*, 1985), o que é equivalente aos valores de pH 5,0 a 6,2, aproximadamente, em cloreto de cálcio. Nessa faixa de pH há condições que permitem a combinação das maiores solubilidades, ao mesmo tempo, de fosfato de Al, Ca e Fe.

A complexa dinâmica do P nos solos tropicais é de grande importância e a principal causa da indisponibilidade do nutriente está ligada à reduzida eficiência de aproveitamento dos fertilizantes fosfatados (YOST *et al.*, 1981). A composição química do fertilizante pode dar indícios de solubilidade e como este fertilizante se comporta no solo e, conseqüentemente da disponibilização do P para a cultura. Fontes com alta solubilidade, mas com agentes de redução de fixação (barreiras físicas e químicas) são estratégias interessantes para aumento na eficiência da adubação fosfatada.

Neste sentido, segundo o fabricante (PRODUQUÍMICA, 2017) o Phusion[®] possui tecnologia em que o fósforo é revestido com resina que visam reduzir a principal perda deste nutriente no solo que se dá por adsorção junto aos coloides do solo que são constituídos principalmente de óxidos de Fe e Al que possuem carga positiva (catiônicos).

No caso da fonte de P das tecnologias da linha TopPhós[®], este possui o maior residual de fósforo na solução do solo disponível para as culturas seguintes ocorre devido ao maior residual de fósforo na solução do solo, além da assimilação do fósforo em variada faixa de pH (TONI, 2015). Quando tratamos de fontes solúveis convencionais, como o fosfato monoamônio (MAP), estes não possuem nenhum mecanismo de “proteção” ou de aumento na eficiência de fornecimento do mesmo.

Uma das formas de avaliar a eficiência dos fertilizantes é realizar a análise de solo após a aplicação do nutriente em questão. Assim, para a análise do teor de P no solo, utiliza-se mais comumente o extrator Mehlich 1, que consiste no uso de dois ácidos fortes diluídos, conhecido também como extrator duplo ácido, e a extração por resina de troca de íons. Essa

resina é sintética, e nela estão presentes grupos químicos de cargas positivas e negativas. As cargas positivas presentes nesta resina adsorvem os ânions H_2PO_4^- da solução aquosa.

Deste modo, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desenvolvimento de plantas de milho e a disponibilidade de P no solo acessada pelo método Mehlich 1 e resina de troca aniônica em função da aplicação de fontes de P em solos com e sem correção do pH.

Material e Métodos

O experimento foi realizado no câmpus Universitário da UNEMAT de Nova Mutum-MT (Latitude 13° 49' 44" S e Longitude 56° 04' 56" W), utilizando vasos com 9,0 kg, preenchidos com solo, classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd), de acordo com critérios da Embrapa (2013). A análise de solo revelou as seguintes características: pH em CaCl_2 : 4,9; P (Mehlich 1): 2,9 mg dm^{-3} ; K: 0,03 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Ca: 0,10 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg: 0,05 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Al: 0,1 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H+Al: 3,6 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; matéria orgânica: 3,5 g kg^{-1} ; CTC (pH 7,0): 3,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; saturação por bases (V): 4,7 %; areia: 557 g kg^{-1} ; silte: 75 g kg^{-1} ; argila: 368 g kg^{-1} .

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizados (DIC) no esquema fatorial 4 x 2, no qual foram avaliados os efeitos de três fontes fosfatadas (Phusion[®], TopPhos[®] e MAP) e uma testemunha sem aplicação de fósforo, associado a dois pH distintos (com e sem aplicação de calcário), com quatro repetições.

Nas unidades experimentais com correção do pH, realizou-se a aplicação e incorporação de 9,5 g de calcário por vaso, dose equivalente a 1,9 t ha^{-1} , visando elevar a saturação de bases do solo a 50%, de acordo com a recomendação de Sousa e Lobato (2004). Em seguida, o solo foi mantido por 20 dias com umidade próxima a 50% da capacidade de campo. Com exceção do tratamento testemunha (sem aplicação de P), as demais unidades experimentais receberam a aplicação e incorporação de dose equivalente a 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 (0,9 g vaso^{-1} de P_2O_5), como mencionado por Sousa, Lobato e Rein (2004), a partir das fontes de fósforo representantes de cada tratamento. Concomitantemente à aplicação de P, a adubação básica foi realizada com os demais nutrientes através de fontes separadas, sendo que as doses de macro e micronutrientes consistiram de: 5 g de N; 23,5 g de S; 0,20 g de Zn; 1 g de Cu; 2,1 g de B; 0,36 g de Mg por vaso, aplicados via solução e misturados aos vasos individualmente para melhor homogeneização.

Logo após, realizou-se a semeadura de 20 sementes de milho por vaso. Após dez dias de semeadura, foi realizado o desbaste deixando apenas dez plantas por vaso. A adubação de

cobertura foi realizada aos 15 dias após a semeadura (DAS) com ureia e cloreto de potássio, nas doses equivalentes a 0,99 g de N e 0,9 g de K₂O.

A colheita da parte aérea foi realizada aos 35 DAS. O corte da parte aérea das plantas foi rente à superfície do solo. Após o corte, a fitomassa da forrageira foi acomodada em sacos de papel devidamente identificados e colocados na estufa a 65° C até obtenção da massa constante. Em seguida, foram pesadas para a determinação da massa seca da parte aérea (MSPA). No mesmo momento foram coletadas amostras de solos para realizar as análises laboratoriais.

As amostras da parte aérea das plantas foram trituradas em moinho tipo Wiley. Visando obter o teor de P na parte aérea, realizou-se a digestão sulfúrica e determinação da concentração de P no extrato pelo método colorimétrico proposto por Silva (2009).

Também foi realizada digestão sulfúrica com posterior destilação pelo método de Kjeldahl conforme descrito por Silva (2009) para a avaliação do teor de nitrogênio da parte aérea do milho.

Para a determinação do acúmulo de P e de N na parte aérea, o teor de fósforo e de nitrogênio (g kg⁻¹) de cada amostra foi multiplicado pela produção de massa seca de cada amostra respectiva (g vaso⁻¹). Calculou-se também a eficiência de uso do fertilizante (EUF) para cada tratamento, através da equação:

$$EUF: \frac{PACF - PAT}{P \text{ aplicado}} \times 100$$

em que,

EUF é eficiência de uso do fertilizante, em porcentagem;

PACF é o fósforo acumulado na parte aérea quando aplicado fertilizante, em mg vaso⁻¹;

PAT é o fósforo acumulado na parte aérea sem aplicação de fertilizante (testemunha), em mg vaso⁻¹;

P aplicado é a dose de fósforo aplicada, em mg vaso⁻¹.

A extração do teor de P pelo método Mehlich 1 foi realizada de acordo com o Silva (2009), enquanto a extração pelo método da resina seguiu o protocolo proposto por Tedesco *et al.* (1995). A determinação do pH do solo foi realizada conforme Silva (2009).

Os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, com o uso do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Quando houve interação entre os fatores, realizou-se o desdobramento dos mesmos.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentados os valores do teste F para as variáveis analisadas na parte aérea da cultura. Observa-se que todas as variáveis foram afetadas pelas fontes de P, seja interagindo com calcário ou não.

Tabela 1 - Valores de F da análise de variância para massa seca da parte aérea (MSPA), teor de fósforo (TP), fósforo acumulado na parte aérea (Pac), eficiência de uso do fertilizante (EUF), teor de nitrogênio (TN) e nitrogênio acumulado na parte aérea (Nac).

FV	MSPA	TP	Pac	EUF	TN	Nac
Calcário (C)	26,5*	0,06 ^{ns}	20,65*	20,65*	20,20*	4,86*
Fonte (F)	35,8*	64,55*	41,06*	41,06*	94,67*	44,51*
C x F	3,10*	0,02 ^{ns}	3,36*	3,36*	2,52 ^{ns}	2,56 ^{ns}
CV (%)	32	23	31	31	19	28

FV = fonte de variação. CV = coeficiente de variação. * = significativo pelo teste de F com $p \leq 0,05$. ns = não significativo.

Houve interação entre as fontes de P e a aplicação de calcário para a massa seca da parte aérea (MSPA) (Tabela 1). Com ou sem a aplicação de calcário, as três fontes fosfatadas foram superiores à testemunha e não diferiram entre si (Figura 1a). Na comparação da aplicação de calcário em cada fonte de P, observa-se superioridade de produção de MSPA com a aplicação de calcário quando comparada a não aplicação, em todas as fontes de P, exceto na testemunha. Na testemunha (sem aplicação de P) não houve efeito do calcário. Vale destacar que sem a aplicação de P a produção de MSPA foi nula, independentemente da aplicação de calcário. Assim, todas as variáveis derivadas da parte aérea das plantas de milho também foram nulas no tratamento sem a aplicação de P.

Como houve produção de MSPA quando aplicado P e não aplicado calcário, e não houve produção de MSPA quando aplicado calcário e não aplicado P, pode-se concluir que fator mais limitante para o desenvolvimento da cultura do milho neste experimento foi o fósforo, e não o baixo pH. No entanto, a melhor produção de MSPA é alcançada quando, tanto o calcário como o P são aplicados ao solo (Figura 1a). Isso ocorre porque a elevação do pH aumenta as cargas negativas do solo e diminui a solubilidade do Fe e Al e, com isso, aumenta a concentração de P na solução do solo (ERNANI *et al.*, 1996).

Garcia (2014) e Santos *et al.* (1996) também observaram ganho de massa seca para a cultura do milho com a aplicação doses de fósforo e com a acidez do solo corrigida.

O teor de P (TP) na parte aérea de milho foi influenciado apenas pelas fontes de P, não havendo efeito do calcário ou da interação entre os fatores (Tabela 1). Para esta variável, todas as fontes de P foram superiores à testemunha, e não diferiram entre si (Figura 2a).

Como comentado anteriormente, esta diferença das fontes de P e a testemunha se deve ao fato da testemunha não produzir plantas e, portanto, o teor de P também é nulo. O TP na parte aérea de milho em função da aplicação de calcário ou não, não apresentou diferença significativa entre a variável analisada (Figura 2b).

Para fósforo acumulado (Pac) na parte aérea, houve interação entre os fatores testados (Tabela 1). Assim, com a aplicação de calcário, as três fontes fosfatadas foram superiores à testemunha e não diferiram entre si (Figura 1b). Quando não aplicado o calcário, as três fontes de P foram superiores à testemunha, mas também houve diferença entre as fontes. Dentre elas, o maior acúmulo de P foi observado com a aplicação de TopPhos[®], e o menor com a aplicação de Phusion[®], enquanto o MAP apresentou valores intermediários à estas.

Na comparação da aplicação de calcário ou não, dentro de cada fonte de P, os valores de Pac seguiram o mesmo comportamento da MSPA. Observou-se superioridade de Pac com a aplicação de calcário quando comparada a não aplicação, em todas as fontes de P, exceto na testemunha.

Costa *et al.* (2008) também relataram que a solubilidade das fontes influenciou nos teores e acúmulo de P pelas plantas quando aplicados em dois solos distintos (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico e NEOSSOLO Quartzarênico).

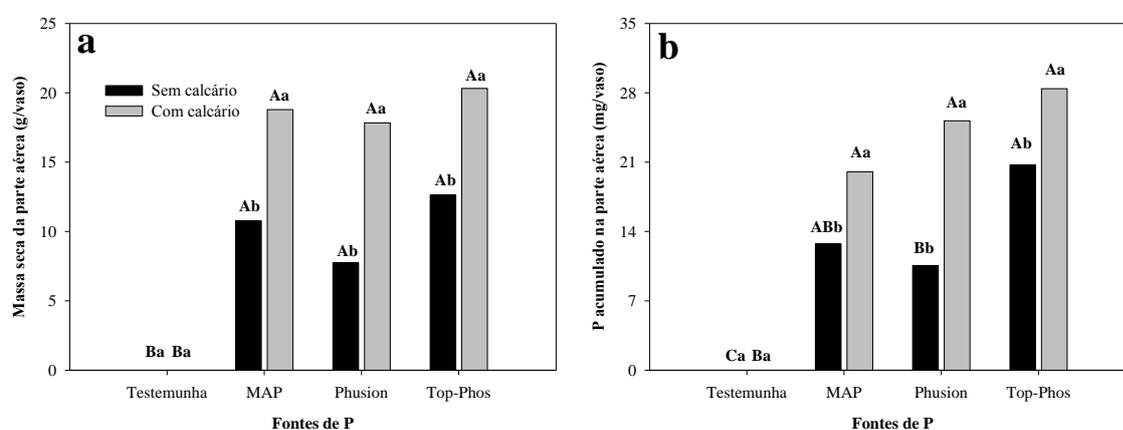


Figura 1 - Massa seca da parte aérea (a) e fósforo acumulado na parte aérea do milho (b) em função da aplicação de fontes de P em solo com e sem calcário. Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Letras maiúsculas comparam as fontes de P dentro de cada nível calcário. Letras minúsculas comparam as aplicações de calcário dentro de cada fonte de P.

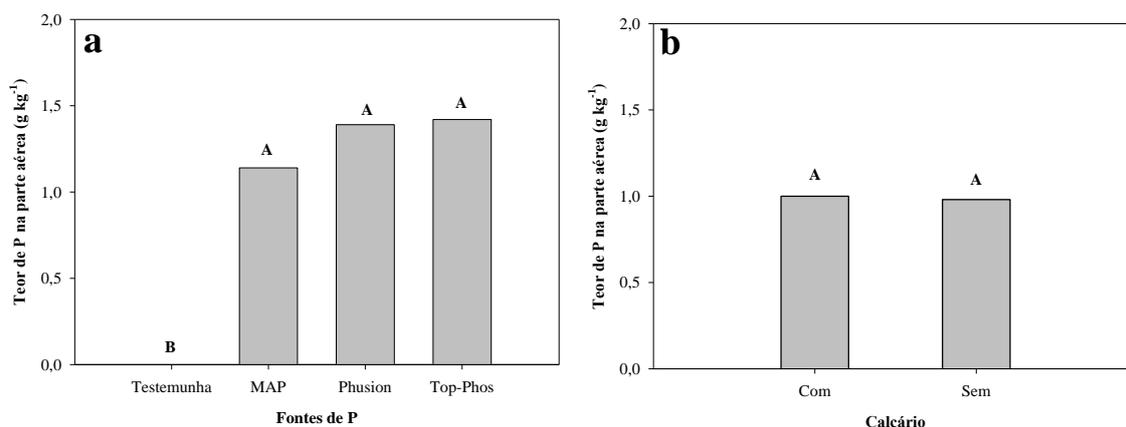


Figura 2 - Teor de fósforo na parte aérea de milho em função da aplicação de fontes de P (a) ou da aplicação de calcário ou não (b). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Segundo Schoninger (2011) as fontes de P de alta solubilidade, ao disponibilizarem praticamente todo o P em curto prazo, favorecem a adsorção específica de grande parte do P, caso este não seja absorvido. Isto não ocorre com os fosfatos de menor solubilidade, os quais necessitam da remoção (absorção, adsorção ou lixiviação) tanto de P como de Ca da solução do solo para que mantenham sua solubilização e possam favorecer a produção das culturas através de cultivos sucessivos (SCHOLEFIELD *et al.*, 1999; MOREIRA *et al.*, 2002; GATIBONI *et al.*, 2003 *apud* SCHONINGER, 2011).

Como a dose de P aplicada foi a mesma em todos os tratamentos que receberam P, a análise da eficiência de absorção de P pelas plantas revelou exatamente o mesmo comportamento do Pac, ou seja, interação entre os fatores (Tabela 1). Quando o calcário foi aplicado, as três fontes fosfatadas foram superiores à testemunha e não diferiram entre si (Figura 3). Sem a aplicação do calcário, as três fontes de P foram superiores à testemunha, mas também houve diferença entre as fontes. Assim, sem calcário, a maior eficiência de absorção foi observada com a aplicação de TopPhos[®], e o menor com a aplicação de Phusion[®], enquanto o MAP apresentou valores intermediários à estes.

Todos os tratamentos fosfatados que receberam correção da acidez do solo foram superiores os mesmos tratamentos que não receberam calagem (Figura 3). Quando se aumenta o número de OH⁻ na solução (prática da calagem) eleva-se o pH, desloca o equilíbrio da reação, aumentando assim a disponibilidade de fósforo para as plantas e melhorando a eficiência da adubação fosfatada (VIVIANI *et al.*, 2010).

O efeito da interação da calagem com adubação fosfatada também foi relatada por Coelho e Silva (1981), na cultura do milho. Estes autores verificaram que a calagem aumentou a produtividade não só por neutralizar o Al, mas também pelo aumento da disponibilidade de fósforo, ocasionando menor adsorção deste e elevando a eficiência da adubação fosfatada.

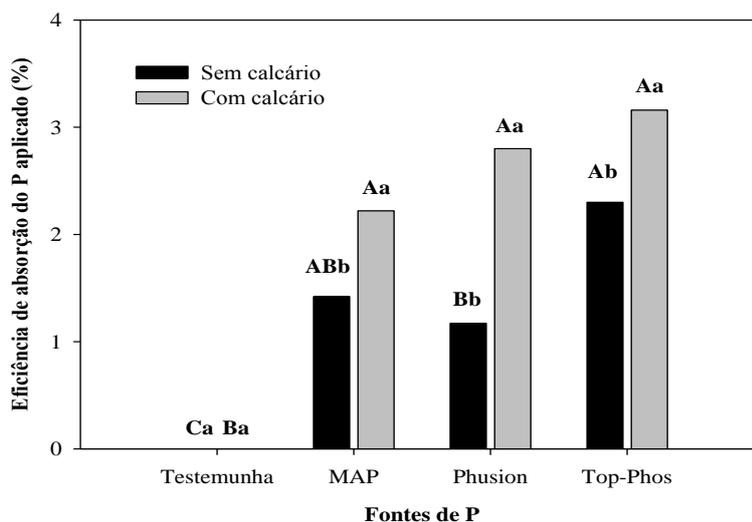


Figura 3 - Eficiência de absorção do fósforo pelo milho em função da aplicação de fontes de P em solo com e sem calcário. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Letras maiúsculas comparam as fontes de P dentro de cada nível calcário. Letras minúsculas comparam as aplicações de calcário dentro de cada fonte de P.

Para o teor de nitrogênio (TN) na parte aérea do milho, houve efeito isolado dos dois fatores testados (fontes de P e aplicação de calcário), sem interação entre os mesmos (Tabela 1). A aplicação de Phusion[®] foi superior ao TopPhos[®] e a testemunha (Figura 4a). O MAP apresentou valores intermediários ao Phusion[®] e ao TopPhos[®], sem diferir deles, mas mesmo assim foi superior à testemunha. A aplicação de TopPhos[®] proporcionou valores menores do que a aplicação do Phusion[®], semelhantes a aplicação do MAP, e superiores ao da testemunha.

Na comparação entre a prática da calagem ou não, maiores valores de TN foram observados quando aplicado o calcário (Figura 4b). Isso ocorre porque a disponibilidade de nutrientes contidos no solo, ou a ele adicionado por meio das adubações, é bastante variável em função do pH do solo (MALAVOLTA *et al.*, 1997). Desta maneira, a presença de íons de cálcio na solução ao redor das raízes mantém a seletividade dos mecanismos de transporte de íons e a sua ausência pode inibir severamente a absorção de outros íons (MARSCHNER,

1995). Além disso, o cálcio auxilia no crescimento radicular e, plantas com maior área radicular exploram maior volume de solo, e conseqüentemente conseguem absorver maior quantidade de nutrientes.

De modo semelhante ao teor de nitrogênio (TN) na parte aérea do milho, para nitrogênio acumulado (Nac) na parte aérea também houve efeito isolado dos dois fatores testados (fontes de P e aplicação de calcário), sem interação entre os mesmos (Tabela 1). Nesta variável, as fontes de fósforo foram superiores à testemunha (sem aplicação de P), mas não diferiram entre si (Figura 4c). No trabalho de Silva *et al.* (2014), dentre as fontes de P, o superfosfato simples proporcionou acúmulo de 18% a mais de nitrogênio quando comparado ao termofosfato. Esse fato sugere que maior quantidade de fósforo foi disponibilizada à planta via adubação com superfosfato simples, o que acarretou uma maior produção de massa seca e assim permitiu uma melhor utilização do nitrogênio.

O acúmulo de nitrogênio foi influenciado pela aplicação de calcário (Figura 4d), de maneira semelhante a MSPA. Assim, a calagem proporcionou maior acúmulo de N do que quando não foi aplicado o calcário. A calagem prévia dos solos ácidos, além de proporcionar aumento do pH e da saturação por bases, promove a neutralização do alumínio e de grande parte do ferro e do manganês, aumentando a atividade biológica e a eficiência dos fertilizantes, resultando ainda em diminuição na capacidade de fixação via precipitação do P, favorecendo, conseqüentemente, o desenvolvimento vegetal (ERNANI *et al.*, 1996).

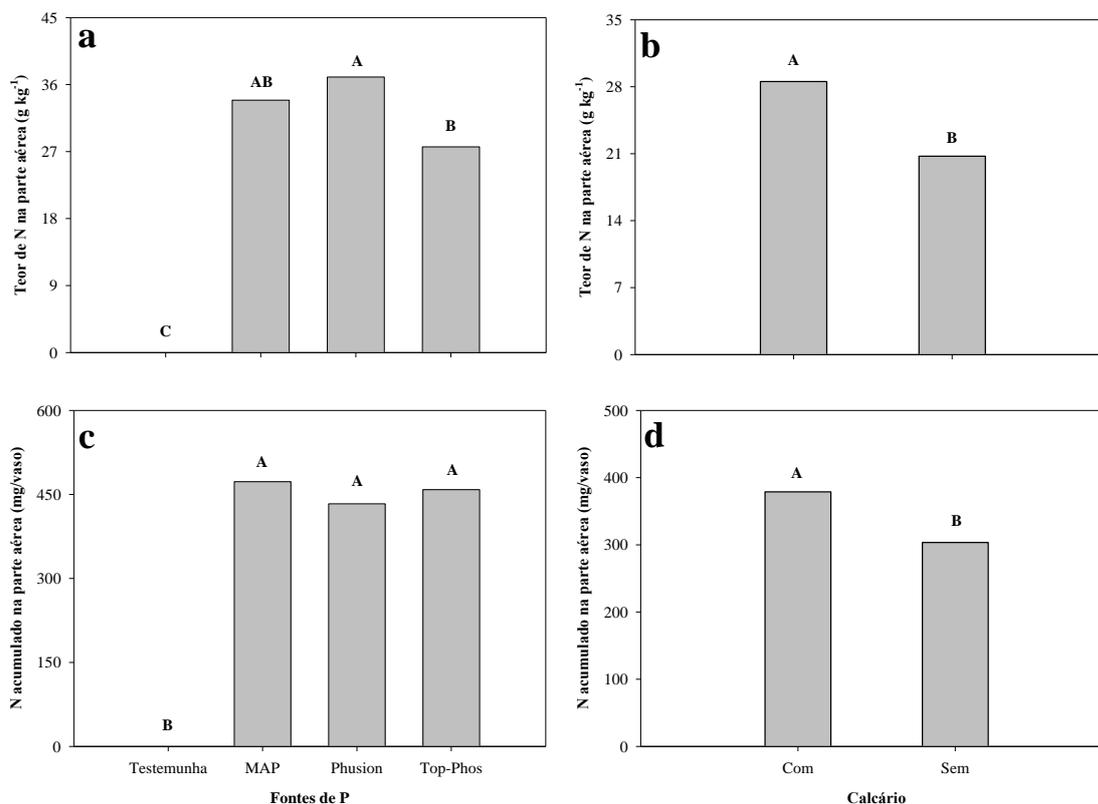


Figura 4 - Teor de nitrogênio na parte aérea de milho em função da aplicação de fontes de P (a) ou da aplicação de calcário ou não (b) e nitrogênio acumulado na parte aérea de milho em função da aplicação de fontes de P (c) ou da aplicação de calcário ou não (d). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Houve efeito das fontes de P sobre o pH do solo e os teores de P extraídos por Mehlich 1 e resina (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores de F para pH do solo (CaCl₂), teor de P extraído por Mehlich 1 aos 35 dias após a semeadura (P-M) e teor de P extraído por resina aos 35 dias após a semeadura (P-R).

FV	pH	P-M	P-R
Calcário	197,45*	2,08 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Fonte	12,86*	25,29*	4,01*
Calcário x Fonte	2,09 ^{ns}	1,35 ^{ns}	1,11 ^{ns}
CV (%)	2,71	38,13	47,65

FV = fonte de variação. CV = coeficiente de variação. *significativo pelo teste de F com $p \leq 0,05$. ns = não significativo pelo teste F com $p \leq 0,05$.

Pelo método de Mehlich 1, observamos que os três tratamentos que receberam adubação fosfatada apresentaram resultados superiores a testemunha, e não diferiram entre si (Figura 5a). Para esta variável não houve efeito da aplicação de calcário (Figura 5b).

A acidez do solo favorece a solubilização dos fosfatos reativos, aumentando sua eficiência, porém o inverso se verifica para os fosfatos solúveis em água que se tornam indisponíveis para a planta com o passar do tempo, devido à adsorção pelo solo (SARMENTO *et al.*, 2002).

Em solos ácidos intemperizados, imediatamente após a aplicação de fontes de P de elevada solubilidade em água uma parte do P aplicado pode torna-se indisponível pelos processos de adsorção nas superfícies de óxidos de Fe e Al e minerais de argila ou precipitação como minerais secundários de P ligado a Fe e Al (HALVIN *et al.*, 2005). Isso explica os baixos teores de P disponível no solo encontrados na análise (menores que 4 mg dm⁻³), mesmo após a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (dose equivalente à 43 mg de P por kg de solo). Como a quantidade exportada pelas plantas foi baixa, a maioria do P aplicado provavelmente ficou adsorvido aos colóides do solo.

Houve variação nos valores de pH (CaCl₂) em função das fontes fosfatadas, sendo o maior valor observado com a aplicação de ThopPhos[®], porém este resultado foi semelhante a testemunha e o menor com a aplicação de MAP (Figura 5c). O tratamento testemunha e a aplicação de Phusion[®] apresentaram valores intermediários. Korndorfer *et al.* (1999) observaram resultados opostos a estes, em que a acidez não apresentou alterações pela adubação fosfatada. No entanto, no presente estudo esta redução no pH pode estar relacionada à acidificação causada pelo processo de nitrificação do amônio adicionado por meio dos fertilizantes. Assim, como o MAP apresenta N na forma amoniacal prontamente disponível, é provável que a nitrificação deste amônio tenha sido responsável pela diminuição nos valores de pH neste tratamento, mesmo quando comparado ao tratamento sem aplicação de P (testemunha).

Quando analisada a variável acidez do solo, o tratamento que não houve correção do pH do solo (sem aplicação de calcário) apresentou resultado inferior ao ser comparado com o tratamento que recebeu a correção da acidez do solo (Figura 5d).

De acordo com Zoz (2009), os fosfatos solúveis em água passam rapidamente para a fase sólida (lábil) e com o passar do tempo são adsorvidos pelo solo (não-lábil), tornado indisponível para a planta. No entanto, o aumento do pH do solo para 5,5 a 6,5 melhora sua eficiência devido à diminuição da fixação do P (GOEDERT; SOUSA, 1984). Desta maneira, Malavolta (1985) observou efeito positivo da calagem no crescimento das raízes da soja, justificando este fato pela redução na fixação de P, aumento do suprimento de Ca e eliminação do alumínio tóxico, conseqüentemente, aumentando a eficiência da adubação

fosfatada. Neste trabalho, este autor observou que a aplicação de 100 kg de P₂O₅ por hectare, na presença de calcário, aumentou a produção em torno de 300 kg a mais do que sem correção prévia da acidez.

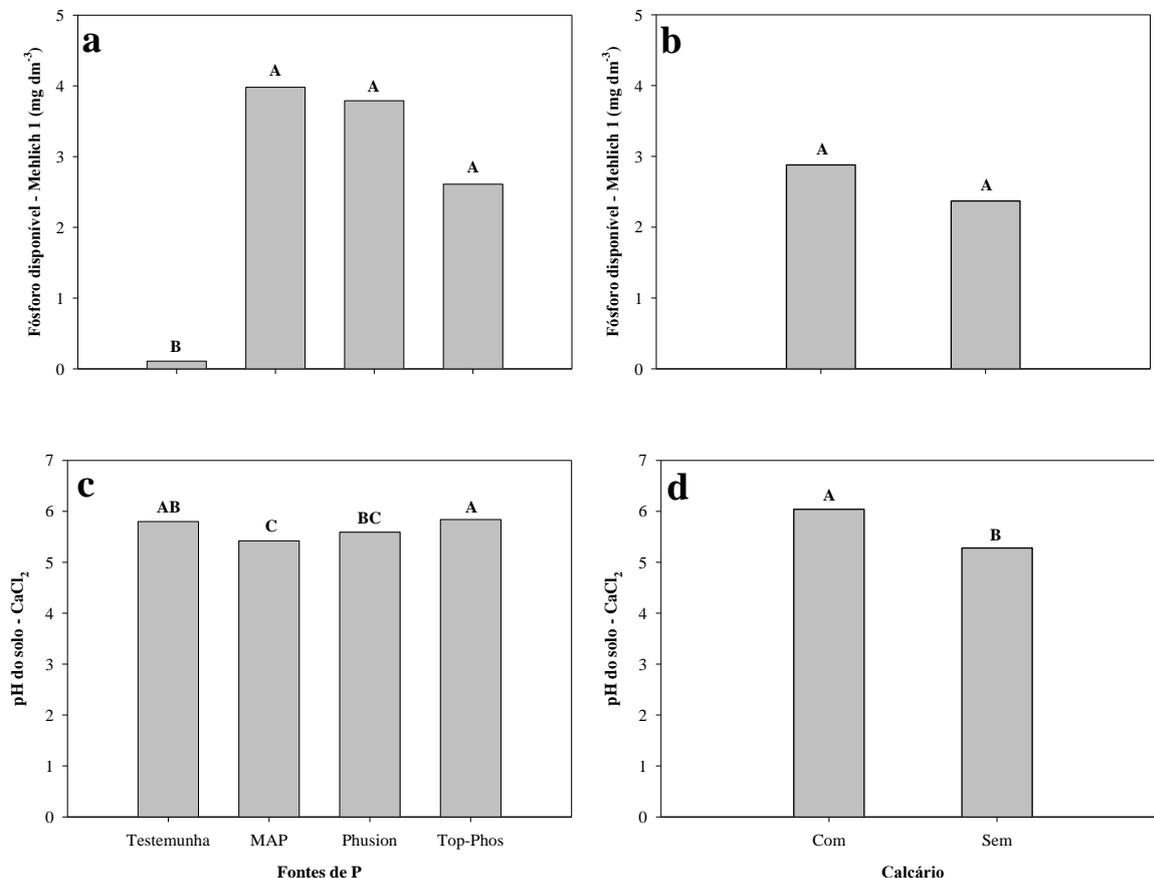


Figura 5 - Valores de fósforo disponível extraído por Mehlich 1 aos 35 dias após a semeadura em função da aplicação de fontes de P (a) ou da aplicação de calcário ou não (b). Valores de pH do solo (CaCl₂) aos 35 dias após a semeadura em função da aplicação de fontes de P (c) ou da aplicação de calcário ou não (d). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na extração de P por resina trocadora de íons, a aplicação de TopPhos[®] apresentou resultado superior em relação a testemunha, porém não diferiu da aplicação de Phusion[®] ou MAP, sendo que estes dois últimos não diferiram da testemunha (Figura 6a). Ao analisar a variável em relação à aplicação de calcário, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 6b).

Trabalhando com doses de superfosfato triplo em um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, Miranda *et al.* (2002) observaram que os métodos de Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina apresentam boa capacidade de predição da disponibilidade de fósforo no solo para o milho e o feijão. O método da resina é indicado para solos com amplas variações de textura e não exerce

influência nas propriedades químicas do solo, por isso é indicado para solos que foram fertilizados com fosfatos de baixa solubilidade (SOUSA *et al.*, 2010).

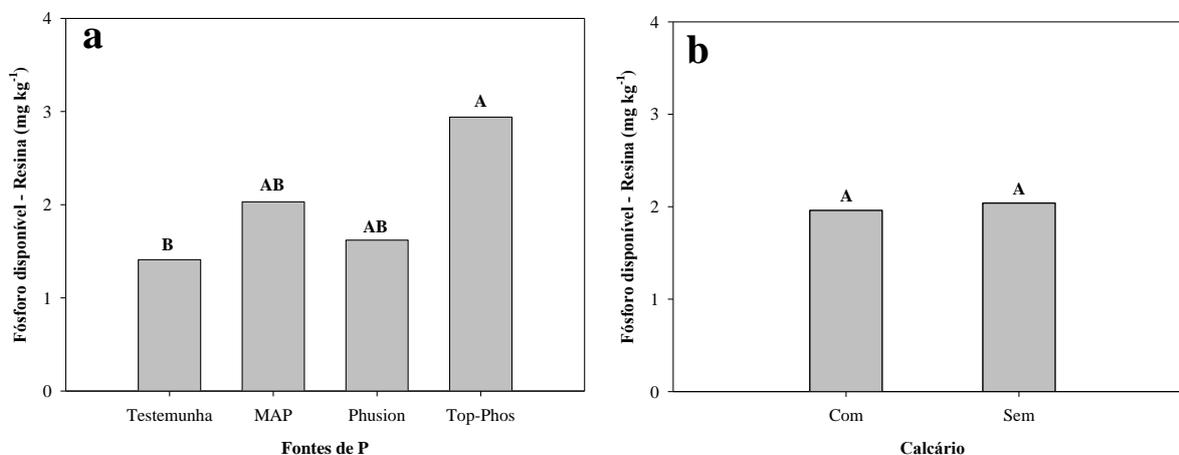


Figura 6 - Valores de fósforo disponível extraído por resina aos 35 dias após a semeadura em função da aplicação de fontes de P (a) ou da aplicação de calcário ou não (b). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Conclusões

A aplicação de calcário aumentou a eficiência da adubação fosfatada, independentemente da fonte, e como consequência, houve maior desenvolvimento da cultura, ocasionando elevação no teor de P e N na parte aérea da planta, além de proporcionar aumento na massa seca da parte aérea de milheto.

As fontes fosfatadas avaliadas (MAP, Phusion[®] e TopPhos[®]) apresentaram eficiência semelhante quanto ao aproveitamento de P pelas plantas.

Na ausência de aplicação de P a cultura não se desenvolveu, independentemente da aplicação de calcário ou não.

A aplicação de fósforo, independentemente da fonte, aumentou a disponibilidade deste elemento no solo, seja pela avaliada por Mehlich 1 ou resina trocadora de ânions.

A aplicação de MAP reduziu o pH do solo.

Referências

ALCARDE, J. C; PROCHNOW, L. I; CHIEN, S. H. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. 726p.

ANGHINONI, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. 726p.

BRAGA, G. N. M. **O Fósforo no Solo e a Solubilidade dos Fosfatos**. Disponível em: <<http://agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2009/11/o-fosforo-no-solo-e-eficiencia.html>>. Acesso em: 15 de setembro de 2017.

CHAPIN, S.L.; BIELESKI, R.L. Mild phosphorus stress in barley and related lowphosphorus-adapted barleygrass: phosphorus fractions and phosphate absorption on relation to growth. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 54, p. 309-317, 1982.

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

COELHO, A.M.; SILVA, B.G. **Efeito residual da adubação fosfatada e calagem na cultura da soja sobre a cultura do milho**. Projeto Milho e Sorgo, Relatório 77/79. Belo Horizonte: EPAMIG, 1981. p. 40-46.

CÓSER, A. C.; MARASCHIN, G.E. Desempenho animal em pastagens de milheto comum e sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.4, p.421-426, abr. 1983.

COSTA, S. E. V. G. A.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, Á. V.; SILVA, T. O.; SILVA, T.R. Crescimento e nutrição da braquiária em função de fontes de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1419-1427, set./out., 2008.

CRUZ, C. V. **Efeito residual de fontes de fósforo e adubação fosfatada no crescimento do milho**. 2015. 54p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Julio De Mesquita Filho". Botucatu, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2013. 306 p.

ERNANI, P. R.; FIGUEREDO, O. A. R.; BECEGATO, V.; ALMEIDA, J. A. Decréscimo da retenção de fósforo pelo aumento do pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, p. 59-162, 1996.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages:Ed. doAutor, 2008, 230 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** v.35, p.1039-1042, 2011.

FRIGIERI, F. F. **A importância da matéria orgânica no solo**. Disponível em: <<https://plantandovida.wordpress.com/2014/10/28/a-importancia-da-materia-organica-no-solo/>>. Acesso em: 15 de set de 2017.

GARCIA, L. A. **Eficiência agrônômica de rejeitos da indústria de fertilizantes fosfatados**. Botucatu, 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 691-699, 2007.

GONÇALVES, J. R. S.; PIRES, A.V.; SUSIN, I.; LIMA, L.G.; MENDES, C. Q.; FERREIRA, E. M. Substituição do Grão de Milho pelo Grão de Milheto em Dietas Contendo Silagem de Milho ou Silagem de Capim-Elefante na Alimentação de Bovinos de Corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.9, p.2032-2039, 2010.

GRANT, C. A; FLATEN, D. N. Importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. In: **Informações Agrônomicas**, 95, Piracicaba, setembro 2001. POTAFÓS, p.1-5.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agronômica de fosfatos naturais. In: simpósio sobre fósforo na agricultura brasileira, 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafos/Anda, 2003. CD-ROM.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria: SBCS/NRS, 1997. 31 p. (Boletim Técnico, 3).

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. Ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E. O fósforo na planta e interações com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. 726p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.

MORRISON, F. B. **Alimentos e alimentação dos animais**. ed. 2. São Paulo, ed. Melhoramentos, 1966. 892p.

MUZILLI, O. Influência do sistema plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.7, p.95-102, 1983.

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

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

PRODUQUÍMICA Agro. **Phusion**. Disponível em:
<<https://www.produquimica.com.br/agro/vegetal/phusion/>>. Acessado em: 20 de out. de 2017.

RAIJ, B. V. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. 726p.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D. I.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.30, p.453-466, 2006.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T. Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos. **Composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa, MG, UFV, 2005, 186p

SANTOS, H. Q.; FONSECA, D. M.; CANTARUTTI, R. B.; ALVAREZ, V. H.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.26, p.173-182, 2002.

SANTOS, H. Q.; FONSECA, D. M.; CANTARUTTI, R. B.; ALVAREZ, V. H.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. **Revista Brasileira de Ciências do Solo, Campinas**, v. 26, p. 173-182, 2002.

SANTOS, J. C. P.; KAMINSKI, J.; ERNANI, P.R.; MAFRA, A. L. Rendimento de massa seca e absorção de fósforo pelo milho afetado pela aplicação de fósforo, calcário e inoculação com fungos micorrízicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n.1, p. 63-67, 1996.

SANYAL, S. K.; De DATTA, S. K. **Química das transformações de fósforo no solo**. Avanços na ciência do solo, New York, v.16, p.1-120, 1991.

SCHONINGER, E. L. **Capacidade de absorção de fósforo pela soja e por plantas de cobertura do solo**. 2011. 67f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC. 2011.

SILVA, A. G.; FRANÇA, A. F.S.; MIYAGI, E. S.; DAMBROS, C. E.; LOPES, F. B. **Eficiência da fertilização fosfatada e nitrogenada em cultivares de milheto**. **Ciência Animal Brasileira**. v. 15, n.2, 2014. Disponível em:<<https://revistas.ufg.br/vet/article/view/9010/16702>>. Acessado em 01 de novembro de 2017.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E., eds. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p. 283-316.

SOUSA, D. M. G; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In:

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. 726p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E., eds. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p. 147-168.

SOUSA, D.M.G.; REIN, T. A.; GOEDERT, W. J.; LOBATO, E.; NUNES, R. S. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: IPNI – Brasil, 2010. v. 2. p. 71-126.

STRYKER, R. B.; GILLIAM, J. W.; JACKSON, W. A. Nonuniform transport of phosphorus from single roots to the leaves of *Zea mays*. **Physiology Plant**, v.30, p.231-239, 1974.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Boletim Técnico N° 5. 2. ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1995.

TONI, C. **TOP-PH**. 2015. Disponível em: https://prezi.com/t_hqkaozh1_/top-phosversaocompleta-ok/. Acessado em 19 de setembro de 2017.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e Fertilidade do Solo**. 6ed. Ed. Andrei, Texas, p.196-213, 20 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 2013. 306 p.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e Fertilidade do Solo**. 6ed. Ed. Andrei, Texas, p.347-348, 2007.

VIVIANI, C. A. A.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; GONÇALVES, M. C. Disponibilidade de fósforo em dois latossolos argilosos e seu acúmulo em plantas de soja, em função do aumento do pH. **Ciência e Agrotecnologia**. (UFLA), v. 34, p. 61-67, 2010.

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, p. 540-543, 1981.