

# Calcário, Potássio, Fosfato e Silício na produtividade do solo

Cristine Elizabeth Alvarenga Carneiro<sup>1\*</sup>, Roberto Antunes Fioretto<sup>2</sup>, Inês Cristina Batista Fonseca<sup>2</sup> e Geraldo Estevam de Souza Carneiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Cx. Postal 6001, 86051-990, Londrina, Paraná, Brasil. <sup>2</sup>Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil. <sup>3</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa/Soja), Cx. Postal 231, 86001-970, Londrina, Paraná, Brasil. Autor para correspondência. e-mail: cristine@uel.br

**RESUMO.** Visando melhorar a disponibilidade do fósforo no solo foi realizado um estudo de sorção de fósforo, utilizando CALPOT (calcário + potássio) e silício como promotores. Em laboratório, aplicou-se ao solo os elementos P e Si em doses crescentes e CALPOT com dose calculada para se atingir um índice de saturação no solo equivalente a 50% de Ca, 10% de Mg e 3% de K. Em casa de vegetação, o solo foi incubado com sete tratamentos, sendo: 1. Testemunha; 2. CALPOT + P + Si; 3. CALPOT + P; 4. CALPOT + Si; 5. Si + P; 6. Calcário; 7. CALPOT. Os cátions básicos foram aplicados na mesma dose estabelecida para laboratório, o P aplicado foi de 50 mg kg<sup>-1</sup> e Si foi duas vezes a dose de P. O tratamento completo em condição laboratorial diminuiu a adsorção de fósforo para o solo estudado. O solo incubado em casa de vegetação, para o tratamento completo, estabeleceu o equilíbrio em bases, aumentou disponibilidade de fósforo no solo. A co-aplicação dos elementos possibilitou menor adsorção do fósforo no solo e melhora das propriedades químicas.

**Palavras-chave:** calagem, equilíbrio químico, adsorção, silício, fósforo.

**ABSTRACT. Lime, Potassium, Phosphate and Silicon in the productivity of the soil.** A sorption study was performed in order to seek improvement on phosphorus availability in soil, using CALPOT (lime + potassium) and silicon as promoters. P and Si were applied in laboratory, at crescent dosages, in soil and CALPOT was used to reach base equilibrium for 50% Ca, 10% Mg and 3% K, using lime and potassium. Soil samples were incubated in a green house with seven treatments, being 1) control; 2) CALPOT + P + Si; 3) CALPOT + P; 4) CALPOT + Si; 5) Si + P; 6) lime; 7) CALPOT. Basic cations were applied in the same dose established for laboratory, P with 50 mg kg<sup>-1</sup> and Si with twice the P-dose. It was observed that the complete treatment in laboratory reduced P adsorption in the studied soil. In the greenhouse, the complete treatment established bases balance and increased P availability in the soil. The co-application of these elements made possible smaller P adsorption, improving the soil's chemical properties.

**Key words:** lime, chemical balance, adsorption, silicon, phosphorus.

## Introdução

O Brasil é um país com grande diversidade de solos, que se caracterizam por apresentar argilas de baixa atividade, provenientes da alta intemperização (Casagrande *et al.*, 2003). A baixa fertilidade dos solos agricultáveis é caracterizada pela elevada acidez e baixo teor de nutrientes como Ca, Mg, K e P.

Nos solos ácidos, o complexo de troca contém apreciável quantidade de alumínio adsorvido e significativa quantidade de ferro e manganês. Esses íons combinam-se com fosfatos para formar compostos insolúveis de alumínio, ferro e talvez de manganês (Parfitt, 1978). Na literatura são

encontrados vários estudos que possibilitam melhorar a disponibilidade de P nos solos (Iyamuremye e Dyck, 1996; Casagrande e Camargo, 1997; Leite, 1997; Motta *et al.*, 2002), sendo a aplicação de silício uma delas.

O ânion silicato pode ser adsorvido à fase sólida do solo, competindo pelos mesmos sítios de adsorção que o fósforo, impedindo ou dificultando a adsorção deste, ficando disponível em solução (Obihara e Russel, 1972). Assim, a correção da acidez do solo com silicatos, além de elevar o pH, poderia disponibilizar o P, pelo efeito adicional de deslocar o P adsorvido para a solução (Volkweiss e Raij, 1976).

Além do fósforo, há a necessidade da reposição de outros elementos essenciais, de forma a melhorar a disponibilidade destes no solo e fornecimento à planta (Kaminski, 2000; Abreu *et al.*, 2001). A utilização de corretivos da acidez auxilia na diminuição do problema da adsorção de P pelos solos, pois, com a elevação do pH, ocorre um aumento da solubilidade dos fosfatos de ferro e alumínio, aumento da concentração de OH<sup>-</sup> na solução do solo, reduzindo a adsorção do fosfato na fase sólida do solo (Casagrande e Camargo, 1997).

A aplicação de calcário e fósforo facilita uma maior disponibilidade de P, ao diminuir a força com que o P é retido no solo (Kaminski, 1983; Alvarado e Cajuste, 1993). Dias e Fioretto (2002) combinaram uma fonte de potássio com calcário, a qual foi denominada CALPOT, que aplicada no momento da calagem possibilitou corrigir a saturação em potássio, dentro de limites previamente estabelecidos para as bases (Ca, Mg, K).

O objetivo deste trabalho foi testar uma mistura de elementos químicos (Ca, Mg, K, P e Si) de várias fontes, de modo que proporcionassem a correção da fertilidade química e a melhora da disponibilidade de P no solo.

### Material e métodos

Foi utilizado um Latossolo Vermelho distroférico coletado na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, Estado do Paraná, (23° 19' S; 51° 11' W) coletado na profundidade entre 60 - 70 cm, para obter uma condição de solo ácido com baixo teores de bases, assim como garantir baixo teor de P. O material foi seco ao ar (TFSA) e passado em peneira (ABNT10) e submetido às análises físicas e químicas (Embrapa, 1997) (Tabela 1). O silício foi determinado segundo Korndörfer *et al.* (1999) com as seguintes modificações: empregou-se em tubo ependorf, 0,4 g de solo passado em peneira 0,3 mm (ABNT 50) e 2 mL de ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup> e em água. Os tubos em triplicata foram agitados durante 1 hora e deixados decantar durante 16 horas. A determinação do Si foi realizada misturando-se 1 mL do sobrenadante obtido com 0,1 mL da solução sulfo-molíbdica 7,5%. Após 10 minutos, acrescentou-se 0,2 mL de ácido tartárico 20% e, após 5 minutos, 1 mL de ácido ascórbico 0,3%. A leitura foi feita após uma hora em espectrofotômetro em 660 nm. A capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) foi realizada segundo Olsen e Watanabe (1957) utilizando tubos ependorf e solo passado em peneira 0,3 mm (ABNT 50). O fósforo não

detectado no sobrenadante foi considerado adsorvido, os dados obtidos em três repetições foram ajustados à equação linear da isoterma de Langmuir, assim obtendo CMAP.

Para o estudo da adsorção de fósforo foram realizados os ensaios com adição de P e Si, o primeiro ensaio, sem adição de CALPOT e o segundo com adição de CALPOT. Foram adicionados em tubos ependorf, capacidade 2 mL, 0,2 g de solo e fósforo como fosfato de potássio (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) nas doses de 0, 50, 100, 150, 250 e 500 mg kg<sup>-1</sup> de solo; Si como silicato de sódio (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) nas doses de 0, 50, 100, 150, 250 mg kg<sup>-1</sup> de solo e Ca, Mg e K (CALPOT) suficiente para estabelecer o equilíbrio de 63% de saturação no complexo sortivo do solo, sendo 50% de Ca, 10% de Mg e 3% de K, segundo Albrecht (1996), utilizando como fonte de Ca e Mg, o calcário calcítico (43,12% CaO, 0,67% MgO) e o dolomítico (28,7% CaO, 19,04% MgO), e K - KCl (62% K<sub>2</sub>O), sendo que os produtos foram passados em peneira com abertura 0,3 mm (ABNT 50). Os tubos foram agitados durante 24 horas em agitador vertical, em seguida os tubos foram deixados em repouso, durante 12 horas para decantação. O sobrenadante foi retirado e analisou-se o fósforo em equilíbrio na solução. Através dos dados obteve-se a percentagem de P adsorvido. Ao solo, foi adicionado extrator de Mehlich-I na proporção de 1:10, procedendo à análise do P segundo Embrapa (1997). A soma do fósforo em equilíbrio na solução e pelo extrator de Mehlich-I foi considerado fósforo em solução. Os dados foram submetidos à análise de regressão múltipla, ajustando-se superfícies de resposta para as variáveis em estudo, em função das concentrações de P e Si adicionadas nos ensaios.

Procedeu-se, então, à incubação do solo com sete tratamentos, sendo que cada tratamento foi incubado com 15 kg de solo em recipiente aberto, durante 60 dias à temperatura ambiente em casa de vegetação e 80% de umidade. Os tratamentos constaram de: 1. testemunha; 2. CALPOT + Si + P; 3. CALPOT + P; 4. CALPOT + Si; 5. Si + P; 6. Calcário; 7. CALPOT. O equilíbrio de bases Ca, Mg e K foi estabelecido para se atingir um índice de saturação de 63%, como definido no estudo de adsorção. A dose de P foi de 50 mg de P por kg<sup>-1</sup> de solo, utilizando como fonte de fósforo um resíduo industrial, tendo 20% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em CNA, 20% de Ca e 0,7% de S. A dose de Si foi duas vezes a dose de P. O silício utilizado foi fornecido pela Silifertil Ambiental Ltda. Todos os elementos foram passados em peneira com abertura 0,3 mm

(ABNT 50) e misturados ao solo. O solo foi amostrado em três repetições após o término da incubação, para a realização das análises de pH, P, Al, Ca, Mg e K (Embrapa, 1997). Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo (SAS) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

**Resultados e discussão**

A capacidade máxima de adsorção de fósforo determinada para o solo em estudo revelou-se tratar de um solo com alta capacidade de adsorção, 3000 mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 1). Este dado está de acordo com outros trabalhos, onde solos ricos em óxidos hidróxidos de Fe e Al possuem alta CMAP (Hernández, 1997, Giesler, 2005).

**Tabela 1.** Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento.

ATRIBUTOS	SOLO
pH em água	5,3
pH em CaCl <sub>2</sub>	5,1
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,91
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,03
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,30
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,31
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,20
H <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,41
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,61
CO (g Kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	4,82
V %	36,38
S (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) (mg dm <sup>-3</sup> )	80,55
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	15,60
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	38,0
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	14,45
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	0,46
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,05
Si solúvel em ácido (mg dm <sup>-3</sup> )	18,03
Si solúvel em água (mg dm <sup>-3</sup> )	14,09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	266
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	177,5
SiO <sub>2</sub> (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	94,9
CMAF (mg kg <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>	3000
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	7,2
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	143,6
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	849,2

<sup>1</sup>CO= carbono orgânico; <sup>2</sup>óxidos do ataque sulfúrico (EMBRAPA, 1997); <sup>3</sup>CMAF=capacidade máxima de adsorção de fósforo; <sup>4</sup>P= Mehlich -I.

Na Tabela 2 observa-se que o fósforo do solo em função das doses silício, na ausência de CALPOT foi adsorvido a uma taxa média de 82,16 % versus 78,74 % com a adição de CALPOT. O efeito da adição de CALPOT é destacado pela tendência da diminuição da adsorção, em que foi menor nas maiores doses de adição de P. Quando doses maiores de Si são aplicadas independente das doses de P, a adsorção é maior, o que tende a inverter-se quando se adiciona o CALPOT. A diminuição do teor de P em função da adição de silício, pode ter sido ocasionada pela tendência de polimerização das unidades monômeras de Si(OH)<sub>4</sub> em excesso, com formação de sílica

coloidal ou amorfa que, de acordo com Oliveira (1984), pode impedir a saída do P ou, ainda, ocasionar uma adsorção do fósforo no próprio polímero de sílica. Leite (1997) verificou em Latossolo Roxo Distrófico, argiloso, que altos teores relativos de P em solução, influenciado pelo P aplicado na etapa anterior à saturação com Si, ocorrem nas concentrações elevadas de P associados as concentrações baixas de Si aplicado.

**Tabela 2.** Percentagem de fósforo adsorvido\* em tubos de ependorf, em função da ausência e presença de CALPOT.

Si (mg kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> ) sem CALPOT					
	0	50	100	150	250	500
0	0	82,0	79,2	80,3	78,2	83,6
50	0	80,4	80,4	80,3	79,3	81,2
100	0	82,6	83,2	83,5	79,9	84,0
150	0	83,6	68,5	65,6	77,7	86,0
250	0	89,4	92,2	90,0	89,6	92,8

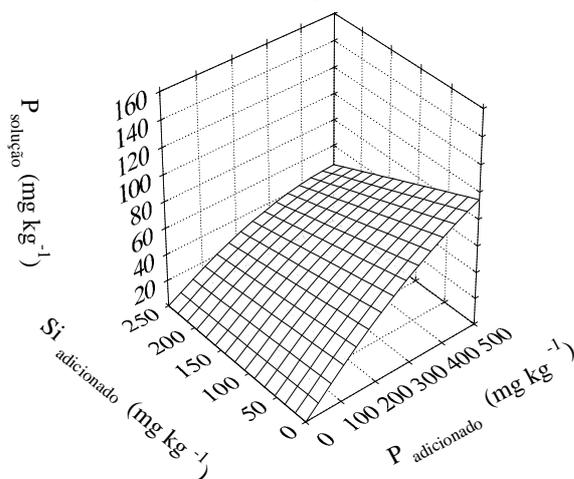
  

Si (mg kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> ) com CALPOT					
	0	50	100	150	250	500
0	0	85,7	85,7	83,5	73,6	75,5
50	0	85,4	84,4	82,6	72,2	72,6
100	0	84,2	84,1	82,3	80,4	73,8
150	0	80,6	91,4	80,1	80,8	71,6
250	0	61,0	75,3	75,0	74,0	73,1

% P<sub>adsorvido</sub> = [(P<sub>adicionado</sub> - P<sub>solução</sub>) / P<sub>adicionado</sub>] 100

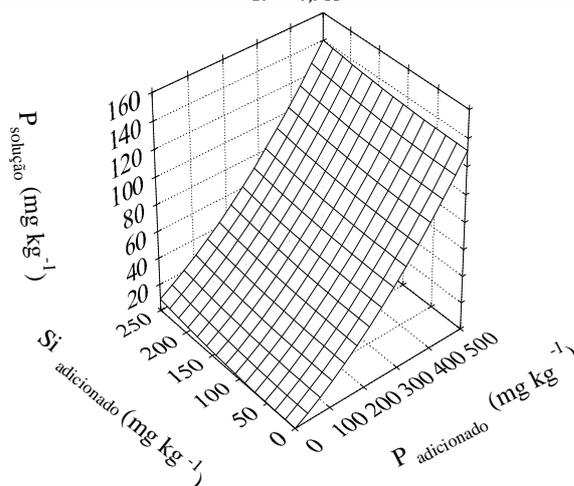
Com a superfície de resposta para o fósforo em solução, que foi obtido através da soma do P pelo extrator de Mehlich e o em equilíbrio na solução (Figuras 1 e 2), foi evidenciado o decréscimo do teor de P no solo com o aumento da concentração de Si, para o tratamento sem CALPOT. A quase total adsorção do P adicionado na incubação é justificada pelo elevado teor de óxidos de Fe e Al no solo. Com adição de CALPOT (Figura 2), denota-se um aumento do P solução em função do aumento das doses de Si e P. Pode-se inferir com esses resultados, que o teor de P solução aumenta com a aplicação do CALPOT e o silício viabiliza a manutenção do P em solução. A adição de calcário com o Si possibilita que o H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> permaneça em solução, devido à fomação do silicato de cálcio, seguido pelos ânions OH<sup>-</sup> e H<sub>3</sub>SiO<sub>4</sub><sup>-</sup> por hidrólise, em que se tem que o H<sub>3</sub>SiO<sub>4</sub><sup>-</sup> é adsorvido aos óxidos-hidróxidos de Fe e Al do solo. A reação obedece o princípio de Lê Châtelier, em que um sistema em equilíbrio submetido a uma perturbação que altere qualquer um dos fatores que determinam o estado de equilíbrio reagirá de modo a minimizar o efeito da perturbação. A adição de cátions formando fosfato de Ca e de K hidratado, relativamente solúveis, tornaria uma fração maior de P disponível. Leal e Velloso (1973) confirmam que a utilização da calagem resulta não só na redução da adsorção de fosfato, como também na reversibilidade do fosfato adsorvido.

$$P_{\text{solução}} = -0.79276 + 0.272379 * P - 0.0001632 * (P^2) - 0.0003984 * (P * Si) \\ R^2 = 0,923$$



**Figura 1.** Superfície de resposta para o fósforo em solução após incubação do solo em função das doses de P e Si adicionada, sem CALPOT.

$$P_{\text{solução}} = -0,19990 + 0,155492 * P + 0,0002154 * (P^2) + 0,0001405 * (Si^2) \\ R^2 = 0,983$$



**Figura 2.** Superfície de resposta para o fósforo em solução após incubação do solo em função das doses de P e Si adicionada, com CALPOT.

Os resultados da incubação do solo, com os tratamentos, revelaram as alterações a que foram submetidos os elementos do complexo sortivo do solo (Tabela 3). Para os tratamentos CALPOT + P + Si, CALPOT + P e CALPOT + Si, os teores estão pouco acima do proposto, devido à adição do silicato de Ca e do resíduo de P, os quais continham algum teor de Ca e Mg. Para o tratamento Si + P, os elementos Ca e Mg no silicato de Ca e no resíduo de P foram suficientes para elevar os elementos nos teores propostos, evidenciando que a utilização dos resíduos industriais aqui testados serviram não só como fonte de Si e P, mas também como fonte de Ca e Mg.

**Tabela 3.** Saturação do complexo de troca do solo por cátions básicos e  $Al^{+3}$ , fósforo e pH após incubação de 60 dias com os respectivos tratamentos.

Tratamentos	Elementos (%)				P	
	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	(mg dm <sup>-3</sup> )	pH
TESTEMUNHA	0,41D	32,00G	3,23E	13,52A	0,89D	5,3F
CALPOT + P + Si	3,59B	66,57A	14,05A	0,35C	15,62A	6,4B
CALPOT + P	3,86A	62,01B	12,92B	0,00D	9,90B	6,1D
CALPOT + Si	3,59B	58,14D	13,81A	0,35C	1,03D	6,4B
Si + P	0,69C	53,72F	9,94D	2,46B	6,64C	5,7E
CALCÁRIO	0,41D	56,35E	11,98C	0,35C	0,92D	6,5A
CALPOT	3,86A	60,08C	13,36AB	0,35C	0,92D	6,3C
C.V.(%)	0	1,33	3,06	4,79	5,95	0,33
D.M.S.	0	1,48	0,69	0,23	0,613	0,041

Médias com letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

No tratamento Si + P, o decréscimo de  $Al^{+3}$  é atribuído ao poder corretivo da escória, a qual proporciona elevação do pH e, em consequência, diminuição do  $Al^{+3}$ . Segundo Alcarde (1992), as escórias possuem propriedades corretivas semelhantes às do calcário. Houve redução na percentagem de Al trocável nos demais tratamentos em comparação à testemunha, evidenciando eficácia de tratamento CALPOT + P + Si. Apesar dos tratamentos CALPOT + P + Si, CALPOT + P, CALPOT + Si, Calcário e CALPOT diferirem estatisticamente no valor de pH (Tabela 3), apresentaram uma mesma faixa de interpretação agrônômica. Entretanto, é indispensável a observação de outros fatores que irão favorecer o desenvolvimento da planta como um todo.

O teor de P no solo após incubação é observado na Tabela 3. O maior teor de P disponível foi obtido no tratamento CALPOT + P + Si. Comparando-se o tratamento CALPOT + P + Si, com o tratamento CALPOT + P que contém os elementos convencionalmente usados na agricultura, notou-se que a adição de Si influenciou positivamente a disponibilidade do P no solo. Isso indica que os produtos iniciais da reação solo-fertilizante são influenciados pelo material corretivo durante as reações da dissolução do fosfato com os componentes do solo. O tratamento Si + P, no qual não ocorreu a aplicação do CALPOT, teve boa disponibilidade do fósforo. Entretanto, devido à falta de equilíbrio entre os cátions básicos e o baixo pH, não favoreceu um teor mais elevado. Pode-se admitir que a aplicação dos elementos em conjunto, como o calcário, o potássio, o fósforo e o silício não diminuiu a disponibilidade do P, mas possibilitou que o mesmo se tornasse mais solúvel.

Kaminski (1983) revelou, também, que a melhor forma de adubação fosfatada para solos argilosos, seria co-aplicado ao calcário. A co-aplicação do fosfato ao corretivo proporcionaria dissolução concomitante e interações entre seus produtos,

formando, predominantemente, fosfatos secundários menos estáveis e mais disponíveis e, ao mesmo tempo, impedindo, ou diminuindo, as recombinações do fósforo com os componentes ácidos dos solos, superfícies de óxidos hidratados de ferro e alumínio.

Observou-se que o CALPOT é uma mistura eficiente para o fornecimento do Ca, Mg e K pois, em todos os tratamentos em que foi utilizado, promoveu as alterações propostas no solo. O equilíbrio proposto para os cátions básicos aplicados ao solo através do CALPOT foi estabelecido (Dias e Fioretto, 2002), não ocorrendo nenhuma forma de competição entre os íons presentes. Isso foi possível, pois a forma do Ca e do Mg constituintes é pouco solúvel, necessitando de um período maior para a solubilização. Já o K aplicado provinha de uma fonte mais solúvel, o que permitiu sua retenção no complexo de troca antes do Ca e Mg, dessa forma não comprometendo sua disponibilidade, o que não ocorreria se todos os compostos tivessem a mesma solubilidade. Por ser um íon de carga menor, o K iria competir com o Ca e Mg, que possuem maior carga, ficando retidos no complexo de troca em quantidades maiores, prejudicando o fornecimento do K, que estaria susceptível a outros processos no solo, como a lixiviação, não sendo absorvido pela planta.

### Conclusão

1. A co-aplicação de calcário + P + K + Si, possibilita o estabelecimento do equilíbrio químico no solo.
2. O Si, co-aplicado com calcário + P + K, aumenta a disponibilidade de fósforo no solo.
3. A relação P:Si de 1:2 mostrou-se eficiente em manter o fósforo disponível pelo extrator de Mehlich -I.

### Referências

ABREU JR., C.H. *et al.* Cátions trocáveis, capacidade de troca de cátions e saturação por bases em solos brasileiros adubados com composto de lixo urbano. *Sci. Agric.*, Jaboticabal, v. 58, n. 4, p. 813-824, 2001.

ALBRECHT, W.A. *The Albrecht Papers Foundation Concepts by William A. Albrecht, Ph. D.* 3. ed., Acres USA: Edited by Charles Walters. 1996. v. 1.

ALCARDE, J.C. Corretivo de acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. 26p. (Boletim Técnico, 6).

ALVARADO, J.; CAJUSTE, L.J. Encalado y retención de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Turrialba*, San José, v. 43, n. 4, p. 235-241, 1993.

CASAGRANDE, J.C.; CAMARGO, O.A. Adsorção de fosfato em solos com caráter ácido avaliada por um modelo de complexação de superfície. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 21, p. 353-360, 1997.

CASAGRANDE, J.C. *et al.* Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas elétricas variáveis. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 27, p. 51-59, 2003.

DIAS, A.M.; FIORETTO, R.A. Utilização do efluente da industrialização de trifuralina como fonte de potássio no solo. Londrina: Universidade Estadual de Londrina – Departamento de Agronomia, 2002. 35p. (Informe Técnico, 2).

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.

GIESLER, R. *et al.* Phosphate sorption in aluminum- and iron-rich humus soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 69, p. 77-86, 2005.

HERNÁNDEZ, J.Y. MEURER, E. Oxidos de hierro en los suelos: Sus propiedades y su caracterización con énfasis en los estudios de retención de fósforo. *Agrociencia*, v. 1, n. 1, p. 1-14, 1997.

IYAMUREMYE, F.; DICK, R.P. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. *Adv. Agron.*, San Diego, v. 56, p. 139-185, 1996.

KAMINSKI, J. *Efeito de cinco fosfatos pré-, co- e pós-aplicados ao calcário no suprimento de fósforo ao sorgo em três solos ácidos*. 1983. Tese (Doutorado em Agronomia)–Curso de Pós-graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1983.

KAMINSKI, J. Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto. Pelotas, RS, Núcleo Regional Sul (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo) 2000. 121p. (Boletim Técnico n. 4).

KORNDÖRFER, G.H. *et al.* Avaliação de métodos de silício em solo cultivados com arroz de sequeiro. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 23, p. 101-116, 1999.

LEAL, J.R.; VELLOSO, A.C.X. Dessorção do fosfato adsorvido em latossolos sob vegetação de cerrado II. Reversibilidade da isoterma de adsorção de fosfato em relação ao pH da solução de equilíbrio. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 8, p. 89-92, 1973.

LEITE, P.C. *Interação silício-fósforo em latossolo roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação*. 1997. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)–Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

MOTTA, P.E.F. *et al.* Adsorção e formas de fósforo em latossolos: influência da minareologia e histórico de uso. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 26, p. 349-359, 2002.

OBIHARA, C.H.; RUSSEL, E.W. Especific adsorption of the silicate and phosphate by soils. *J. Soil Sci.*, Oxford, v. 23, n. 1, p. 105-117, 1972.

OLIVEIRA, M.G.A. *Determinação, adsorção e deslocamento recíprocos de silício e fósforo em latossolo do triângulo mineiro*. 1984. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)–Curso Solos e Nutrição de Plantas, Universidade

Federal de Viçosa, Viçosa, 1984.

OLSEN, S.R.; WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorous adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, v. 21, p. 144-149, 1957.

PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. *Adv. Agron.*, San Diego, v. 30, p. 1-50, 1978.

VOLKWEISS, S.J.; RAIJ, B. VAN. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO

SOBRE CERRADO, BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., 1976, Brasília: Bases para utilização agropecuária, Belo Horizonte: Itatiaia, 1976, p. 317-332.

*Received on April 20, 2005.*

*Accepted on August 08, 2006.*