



## Efeito da interação fósforo-silício no pH do lixiviado de colunas de solo<sup>(1)</sup>

**Bruno Teixeira Ribeiro<sup>(2)</sup>; Camila Silva Borges<sup>(3)</sup>; Emanuelle Zordan de Melo<sup>(3)</sup>; Enio Tarso de Souza Costa<sup>(4)</sup>; Glaicon Florisbello Alves<sup>(5)</sup>**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos da FAPEMIG (Processo APQ 04520-2010) e apoio da Universidade Federal de Uberlândia para participação e apresentação.

<sup>(2)</sup> Professor; Universidade Federal de Uberlândia; Uberlândia, MG; btribeiro@iciag.ufu.br; <sup>(3)</sup> Estudante-bolsista (PIBIC/CNPq/Fapemig), Universidade Federal de Uberlândia; <sup>(4)</sup> Professor, Universidade Federal de Uberlândia; <sup>(5)</sup> Técnico-laboratorista, Universidade Federal de Uberlândia.

**RESUMO:** O pH da solução do solo controla importantes processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem no solo. Conduziu-se este trabalho com o objetivo de avaliar, em colunas de solo, a influência da aplicação de fosfato, silicato e carbonato de cálcio no pH do lixiviado ao longo do tempo. Amostras da camada 0-20 cm de um Latossolo Vermelho Distrófico foram incubadas com 8,32 mmol kg<sup>-1</sup> de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> associadas a diferentes concentrações de CaSiO<sub>3</sub> (0; 1,04; 2,08; 4,16; 8,32 mmol kg<sup>-1</sup>). Utilizaram-se, para comparação: controle; 8,32 mmol kg<sup>-1</sup> de CaSiO<sub>3</sub>; 8,32 mmol kg<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> e 8,32 mmol kg<sup>-1</sup> de H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>. Em condições laboratoriais, foram montadas colunas de PVC de 16 cm de altura e 7,5 cm de diâmetro interno, preenchidas com 1.000 g de solo a uma densidade de 1,2 g cm<sup>-3</sup> e porosidade total de 0,53 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>. A cada três dias, durante dois meses, aplicou-se, sobre a superfície do solo, 50 mL de água destilada, equivalente a 10% da porosidade total. Após cada aplicação, recolheu-se o lixiviado para determinação do pH. Após o ensaio, uma amostra de solo das colunas foi retirada para determinação do pH em água. O pH do lixiviado aumentou devido a adição de P no solo. A adição de doses crescentes de Si no solo, na presença de P, aumentou linearmente o pH do lixiviado, elevando-o a valores equivalentes a aplicação de carbonato de cálcio ou de silicato de cálcio. Constatou-se uma correlação linear entre pH do lixiviado e pH do solo.

**Termos de indexação:** solução do solo, lixiviação, porosidade do solo

### INTRODUÇÃO

A composição química da solução do solo é bastante complexa e variável no espaço e no tempo, sendo afetada por vários fatores, como: i) material de origem; ii) pH; iii) condições de oxidação-redução; iv) matéria orgânica; v) adição de produtos (calcário, fertilizantes, pesticidas, resíduos orgânicos); vi) umidade; vii) e o manejo do solo de maneira geral. Gloaguen et al. (2009) comprovaram que a concentração de cátions e ânions na solução

do solo também varia em função do diâmetro do poro.

O pH da solução do solo controla a disponibilidade e forma dos nutrientes, o desenvolvimento de cargas elétricas em solos com predomínio de cargas do tipo variável, o fenômeno da dispersão/floculação da argila, reações de precipitação, entre outros (Meurer, 2007).

A adubação fosfatada e o uso do silício são práticas comuns na agricultura brasileira. No caso do P, a importância se deve à sua carência na maioria dos solos (e.g., Latossolos) e, também, à sua elevada adsorção em solos oxidados (Lopes et al., 2012). O Si, comumente aplicado na forma de escórias (silicatos de cálcio), apresenta efeito semelhante ao calcário, elevando o pH e fornecendo Ca (Camargo et al., 2007). Além do efeito semelhante ao calcário, o ânion silicato pode competir com o ânion fosfato pelos mesmos sítios de adsorção (Pozza et al., 2007).

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de verificar, em colunas de solo, a mudança do pH do lixiviado ao longo do tempo sob influência do P, Si, P+Si. Comparativamente, avaliou-se também o efeito do carbonato e silicato de cálcio e do ácido silícico.

### MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras da camada superficial (0-20 cm) de um Latossolo Vermelho Distrófico. As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de abertura de 2 mm. Em 1.000 g desse material de solo estabeleceram-se os seguintes tratamentos (em triplicata), utilizando como fonte de P e Si, os sais KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> e CaSiO<sub>3</sub>, respectivamente:

- 1 - Controle;
- 2 - 8,32 mmol kg<sup>-1</sup> de P;
- 3 - 8,32 mmol kg<sup>-1</sup> de P + 1,04 mmol kg<sup>-1</sup> de Si;
- 4 - 8,32 mmol kg<sup>-1</sup> de P + 2,08 mmol kg<sup>-1</sup> de Si;
- 5 - 8,32 mmol kg<sup>-1</sup> de P + 4,16 mmol kg<sup>-1</sup> de Si;
- 6 - 8,32 mmol kg<sup>-1</sup> de P + 8,32 mmol kg<sup>-1</sup> de Si;
- 7 - 8,32 mmol kg<sup>-1</sup> de CaSiO<sub>3</sub>;
- 8 - 8,32 mmol kg<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>;
- 9 - 8,32 mmol kg<sup>-1</sup> de Si (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>).



O material de solo (1.000 g) foi acondicionado em colunas de PVC de 16 cm de altura e 7,5 cm de diâmetro interno, ocupando um volume de  $865 \text{ cm}^3$ , com uma densidade média de  $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ . Considerando a densidade de partículas igual a  $2,53 \text{ g cm}^{-3}$ , a porosidade total da coluna de solo foi igual a  $0,53 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ . Durante todo o ensaio, as amostras foram mantidas com umidade constante na capacidade de campo (CC). A CC foi determinada diretamente nas colunas. Um dispositivo de coleta do lixiviado localizado na parte inferior das colunas foi fechado e as colunas completamente saturadas com água, adicionando a quantidade de água equivalente ao seu volume total de poros. Após 48 horas, o dispositivo de coleta do lixiviado foi aberto e coletada a água livremente drenável. O valor médio da água livremente drenável foi 365 mL, representando, portanto, 80% da porosidade total das colunas. Após a drenagem livre, registrou-se o peso das colunas mantendo-se constante a umidade mediante pesagem e reposição das perdas por evaporação com água destilada. A cada três dias, durante dois meses, aplicou-se, na superfície do solo, 50 mL de água destilada, equivalente a 10% do volume total de poros. Após cada aplicação, coletou-se o lixiviado para determinação do pH. No final do ensaio uma amostra de solo de cada coluna foi retirada, seca ao ar e determinado o pH em água (relação solo:água de 1:2,5) (Embrapa, 2009).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1a é mostrado o efeito do P e P + Si, comparativamente ao controle, sobre o pH do lixiviado. Na figura 1b faz-se a comparação entre a aplicação de  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSiO}_3$  e  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  em relação ao controle.

A coluna de solo usada como controle, inicialmente com pH 6,1 (aos seis dias de incubação), reduziu para aproximadamente 5,0 aos 10 dias, permanecendo constante no restante do período de incubação (Figura 1a e 1b). Gloaguen et al. (2009), observaram que a simples aplicação de 300 mm de água destilada em colunas de solo reduziu o pH do lixiviado 1,5 unidade. Os autores atribuíram essa acidificação à lixiviação de bases no solo. Essa alteração do pH do lixiviado pela simples percolação da água em colunas de solo já não foi observada por Caovilla et al. (2005).

A adição de  $8,32 \text{ mmol kg}^{-1}$  de P no solo, utilizando como fonte o  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , aumentou o valor de pH do lixiviado de 6,1 para aproximadamente 7,5 aos 25 dias de incubação (Figura 1a), permanecendo esse valor constante até o final do período de avaliação. Isso pode estar relacionado

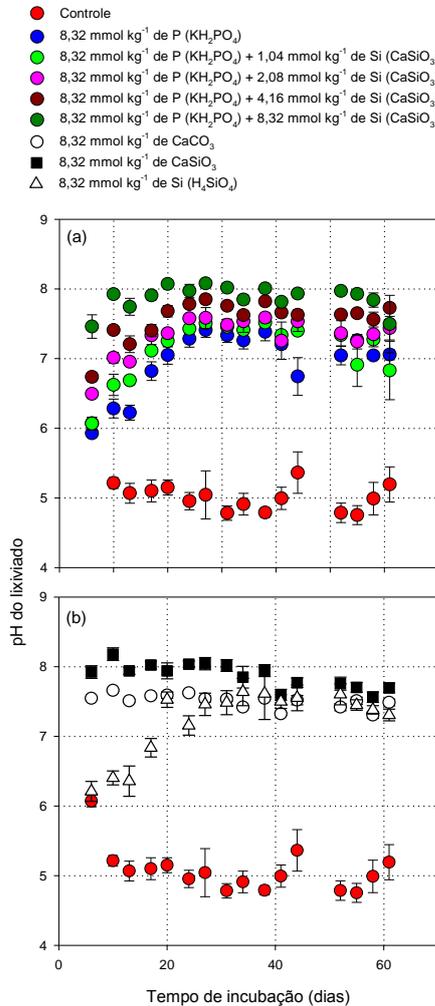
com a adsorção específica do ânion fosfato, ocorrendo a troca de ligantes e liberação de hidroxilas para a solução do solo (Paim et al., 2006).

A adição de doses crescentes de Si, utilizando como fonte o  $\text{CaSiO}_3$ , na presença do P, aumentou o pH do lixiviado, atingindo valores de 8,2 (valor máximo) e 7,9 (valor médio) quando combinou-se  $8,32 \text{ mmol kg}^{-1}$  de P +  $8,32 \text{ mmol kg}^{-1}$  de Si (Figura 1a). A combinação P + Si proporcionou um aumento do pH semelhante à aplicação de carbonato de cálcio e silicato de cálcio (Figura 1b).

Foi obtida uma boa relação entre a quantidade de Si adicionada, na presença de P, e o aumento do pH do lixiviado (Figura 2). Na presença de P, a adição de  $1 \text{ mmol kg}^{-1}$  de Si ( $28 \text{ mg kg}^{-1}$ ) aumentou 0,1 unidade de pH. Comparando o efeito da máxima adição de Si aplicado no solo, o pH inicial de 6,95 no solo que não recebeu Si ( $0 \text{ mmol kg}^{-1}$  de Si) elevou para 7,87 com a maior adição desse elemento ( $8,32 \text{ mmol kg}^{-1}$ ).

Com a aplicação de  $8,32 \text{ mmol kg}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  foi obtido um valor médio de pH igual a 7,9. Na mesma dose, com a aplicação de  $\text{CaSiO}_3$  obteve-se um valor médio de 7,5. Esse menor valor pode estar relacionado à menor reação do  $\text{CaSiO}_3$  no solo quando comparado ao  $\text{CaCO}_3$  (Carmargo et al., 2007). Não foram observadas variações no pH do lixiviado ao longo do tempo quando da aplicação do carbonato de cálcio e silicato de cálcio. Entretanto, observa-se uma rápida reação desses materiais no solo, devido ao aumento dos valores de pH de 6,0 (controle) a 7,5 e 7,9 com aplicação de  $\text{CaSiO}_3$  e  $\text{CaCO}_3$ , respectivamente, após seis dias de incubação.

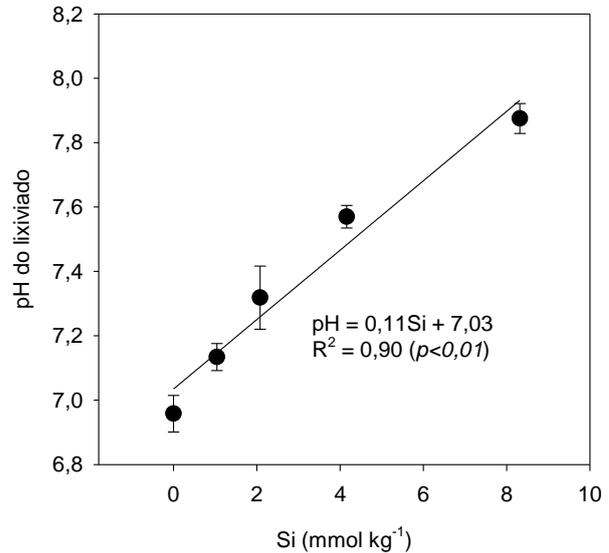
A aplicação de Si, na forma de ácido silícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ), também afetou o pH do lixiviado. Inicialmente, até 13 dias de incubação, nenhuma alteração do lixiviado foi observada. Entretanto, após esse período, o pH do lixiviado aumentou atingindo valor de 7,5 aos 30 dias de incubação. Esses resultados indicam uma reação, pelo menos parcial, do  $\text{H}_4\text{SiO}_4^0$ , o qual apresenta  $\text{pKa}=9,0$ . Considerando a faixa de pH encontrada no lixiviado quando da aplicação de ácido silícico (6,0 a 7,5), o Si estaria presente nas formas  $\text{H}_4\text{SiO}_4^0$ ,  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ ,  $\text{H}_6\text{Si}_4\text{O}_{12}^-$ ,  $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$  e  $\text{HSiO}_4^{3-}$  (Mello & Perez, 2009). Esses silicatos, como o  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ , podem adsorver às partículas do solo da mesma forma que os ânions  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$  (Carvalho et al., 2000), sugerindo também um mecanismo de troca de ligantes, liberando hidroxilas para solução e, conseqüentemente, aumentando o pH do lixiviado. Observa-se que o aumento do pH do lixiviado pela adição de  $8,32 \text{ mmol kg}^{-1}$  de P (Figura 1a) foi bastante semelhante ao efeito da aplicação de  $8,32 \text{ mmol kg}^{-1}$  de  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  (Figura 1b).



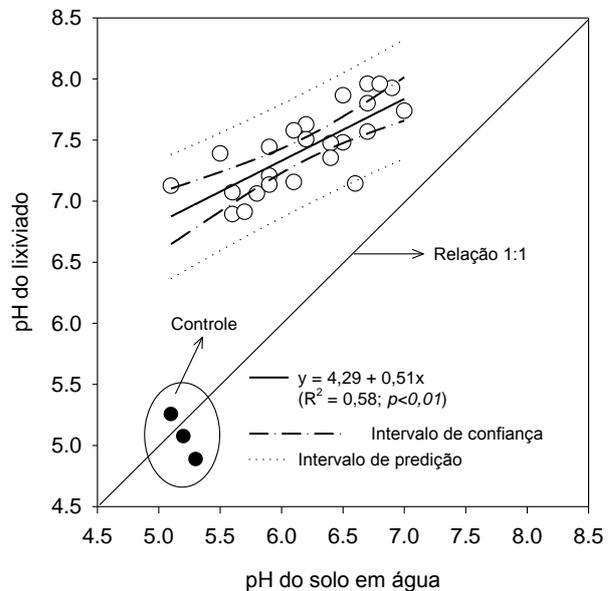
**Figura 1** – Potencial hidrogeniônico (pH) do lixiviado de colunas de solo sob influência do P, Si, P + Si (a) e carbonato e silicato de cálcio (b). Barras de erro indicam o erro padrão da média (n=3).

Considerando todos os tratamentos, excluindo as amostras controle, foi obtida uma correlação linear significativa entre os valores de pH do lixiviado e do pH do solo (pH em água, relação solo:água de 1:2,5). Entretanto, essa correlação não foi próxima de 1:1. Para um mesmo tratamento, os valores de pH do lixiviado foram superiores aos de pH do solo (Figura 3). Sem a influência dos tratamentos (controle), foi observada uma relação próxima de 1:1 entre o pH do lixiviado e pH do solo. Gloaguen et al. (2009), avaliaram a composição da solução do solo extraída de poros de diferentes tamanhos. Na macroporosidade drenável (poro com diâmetro  $\geq 76 \mu\text{m}$ ), o pH variou de 5,5 a 6,0, decrescendo exponencialmente com a redução do tamanho do

poro. Os autores sugerem que nos microporos ocorrem retenção de íons H<sup>+</sup> e, também, a ocorrência mais intensa da nitrificação.



**Figura 2** – Efeito de doses de Si (CaSiO<sub>3</sub>), na presença de 8,32 mmol kg<sup>-1</sup> de P (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), no pH médio dos lixiviados. Barras de erro indicam o erro padrão da média (n=3).



**Figura 3** – Relação entre o pH médio de todos os lixiviados e o pH do solo (pH em água, relação solo:água de 1:2,5), considerando todos os tratamentos.



## CONCLUSÕES

O pH do lixiviado das colunas aumentou com a adição de P no solo. A adição de doses crescentes de Si, na presença de P, aumentou linearmente o pH do lixiviado. A combinação P + Si elevou o pH do lixiviado a valores equivalentes à aplicação carbonato de cálcio ou silicato de cálcio no solo.

Constatou-se uma correlação linear entre o pH do lixiviado e o pH do solo.

## REFERÊNCIAS

CAMARGO, M.S.; KORNDORFER, G.H.; PEREIRA, H.S. Solubilidade do silício em solos: influência do calcário e ácido silícico aplicados. *Bragantia*, 66:637-647, 2007.

CAOVILLA, F.A.; SAMPAIO, S.C.; PEREIRA, J.O.; VILAS BOAS, M.A.; GOMES, B.M.; FIGUEIREDO, A.C. Lixiviação de nutrientes provenientes de águas residuárias em colunas de solo cultivado com soja. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9:283-287, 2005.

CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A.E.; NILTON, C.; FERNANDES, L.A. Dessorção de fósforo por silício em solos ácidos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:69-74, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ª ed. rev. e ampl. Brasília / Distrito Federal: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

GLOAGUEN, T. V.; PEREIRA, F. A. C.; GONÇALVES, R. A. B & PAZ, V. S. Composição química da solução do solo nas diferentes classes de poro do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1105-1113, 2009.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. & RAMOS, S. J. The saga of agricultural development of the Brazilian Cerrado. *International Potash Institute*, 32:29-56, 2012.

MELLO, J.W.V.; PEREZ, D.V. Equilíbrio químico das reações no solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (eds.). *Química e Mineralogia do Solo – Parte I : Conceitos básicos*. Viçosa: SBCS, 2009. 695p.

MEURER, E.J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento de plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (eds.). *Fertilidade do Solo*. Viçosa: SBCS, 2007. 1017p.

PAIM, L.A.; CARVALHO, R.; ABREU, C.M.P.; GUERREIRO, M.C. Estudo dos efeitos do silício e do fósforo na redução da disponibilidade de metais pesados em área de mineração. *Química Nova*, 29:28-33, 2006.

POZZA, A. A. A.; CURTI, N.; COSTA, E. T. S.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J. G. S. M. & MOTTA, P. E. F. Retenção e dessorção competitiva de ânions inorgânicos em gibbsita natural de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42:1627-1633, 2007.