

SOLUBILIZAÇÃO DO FOSFATO DE ARAXÁ NO SOLO, CONSIDERANDO O TEOR DE ALUMÍNIO TROCÁVEL E O TEMPO DE INCUBAÇÃO^{1/}

João Batista Bragança^{2/}

José Mário Braga^{3/}

Roberto Ferreira de Novais^{3/}

José Tarcísio Lima Thiébaut^{4/}

1. INTRODUÇÃO

As fontes naturais de fósforo têm, no Brasil, grande potencial de aplicação direta, em razão de inúmeros fatores, dentre os quais aponta-se a disponibilidade de grandes reservas próximas às vastas áreas produtoras. Embora não possam, ainda, ser consideradas como fontes que substituem as solúveis, exigindo circunstâncias próprias para sua utilização, diversos estudos têm tentado caracterizar os vários fatores que influenciam seu uso como fonte direta de fósforo para as plantas. Um desses fatores é a interação fósforo-alumínio, cujo reflexo no crescimento das plantas tem sido estudado por vários pesquisadores (2, 8). Como resultado dessa interação, enumeram-se: a diminuição do efeito tóxico do alumínio pelo fósforo aplicado e a solubilização de fontes naturais de fósforo pela atuação do alumínio trocável do solo.

^{1/} Parte da tese do primeiro autor, um dos requisitos para o título de «Magister Scientiae» em Fitotecnia.

Recebido para publicação em 10/04/1981.

^{2/} Técnico do IBC, lotado no GERCA. Vitória, ES.

^{3/} Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. 36570 Viçosa, MG.

^{4/} Departamento de Matemática da Universidade Federal de Viçosa. 36570 Viçosa, MG.

São pouco numerosos os trabalhos relativos ao efeito do alumínio sobre a solubilização da rocha fosfatada, mas eles permitem concluir que, por ação do alumínio, indireta ou direta, com a diminuição do pH do meio, há solubilização da rocha fosfatada (6, 9).

Este trabalho foi realizado com o objetivo de verificar o efeito de níveis de alumínio trocável do solo sobre a solubilização do fosfato de Araxá, bem como a eficiência do efeito do tempo de incubação do fosfato no solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizada amostra de um solo sob vegetação de cerrado, de Sete Lagoas, Minas Gerais, classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Cámbico álico, originário de rochas pelíticas do grupo Bambuí. Sua coleta foi efetuada na camada superficial (de zero a 20 cm), em área não cultivada. Retirou-se da amostra do solo uma subamostra, para as determinações físicas e químicas (Quadro 1).

QUADRO 1 - Resultados de características químicas e físicas da amostra de solo utilizada*

| Características | Valores |
|---|---------|
| pH em água (1: 2,5) | 4,8 |
| pH em KC1 (1: 2,5) | 3,8 |
| Al ⁺⁺⁺ (eq.mg/100 g) (1) | 3,1 |
| Ca ⁺⁺ (eq.mg/100 g) (1) | 0,3 |
| Mg ⁺⁺ (eq.mg/100 g) (1) | 0,3 |
| P (ppm) - (2) | 2 |
| K ⁺ (ppm) - (2) | 86 |
| H ⁺ + Al ⁺⁺⁺ (eq.mg/100g) (3) | 9,4 |
| Saturação de Al ⁺⁺⁺ (%) (4) | 79,0 |
| Matéria orgânica (%) | 2,0 |
| Capacidade máx. ads. P (mg P/s Solo) ⁽⁵⁾ | 0,893 |
| Areia grossa (%) | 6 |
| Areia fina (%) | 13 |
| Silte (%) | 22 |
| Argila (%) | 59 |
| Umidade equivalente (% em peso) | 28 |
| Capacidade de campo estimada (%) | 33 |
| Classificação textural | Argila |

* - Análises realizadas nos laboratórios de Química e Fertilidade e de Física do solo da UFV.

- (1) - Extrator: KC1 1N (VETTORI, 7)
- (2) - Extrator: Mehlich (VETTORI, 7)
- (3) - Extrator: Ca(Ac)₂ pH = 7,0 (VETTORI, 7)
- (4) - Processo: Walkley e Black (JACKSON, 5)
- (5) - BRAGA (1)

Amostras do solo foram incubadas com doses variáveis de calagem, determinada segundo uma curva de incubação previamente obtida, de modo que os níveis de Al trocável no solo fossem iguais a 0,0, 1,0, 2,0 e 3,0 eq. mg Al/100 g solo. Foram testados, nesses tratamentos, dois fosfatos, em duas doses de fósforo, fosfato de Araxá (passado em peneira de 200 «mesh» e com 26,09% P₂O₅ total) e superfosfato triplo (46,82% P₂O₅ total). Esses fosfatos foram testados nas doses de 0,0, 0,1, 0,2 e 0,3 da capacidade máxima de adsorção do fósforo do solo, tendo sido considerado, para o cálculo das doses, o teor de P₂O₅ total dos fosfatos.

Estudou-se ainda a influência do tempo de incubação dos fosfatos no solo. Foram testados: o plantio logo após a aplicação dos fosfatos (zero dias de incubação) e o plantio 30 e 60 dias depois da aplicação do material fosfatado (30 e 60 dias de incubação). Essas aplicações foram feitas em épocas diferentes, de modo que o plantio correspondente aos diferentes tempos fosse realizado numa mesma data, eliminando-se o efeito de época de plantio.

Os tratamentos constituíram um arranjo fatorial 2 x 4 x 4 x 3 (dois fosfatos, quatro doses de fósforo, quatro níveis de Al trocável e três tempos de incubação) e foram repetidos três vezes.

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação e a planta indicadora foi o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), híbrido 'BR-600', desenvolvido pelo Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo da EMBRAPA, de Sete Lagoas, MG, recomendado para solos com elevada acidez e alto teor de alumínio. Durante todo o período experimental manteve-se o teor de umidade dos solos em torno de 100% da capacidade de campo. O desbaste, para 10 plantas/vaso, e a adubação, de acordo com FRANCO (4), foram efetuados uma semana após a emergência das plantas. Semanalmente, procedeu-se a um rodízio dos vasos dentro de cada bloco. A colheita foi realizada 40 dias após a semeadura, cortando-se o material vegetal rente ao solo, secando-o a 67°C durante 72 horas. Após secagem e determinação do peso da matéria seca da parte aérea, o material foi triturado em moinho Wiley. Efetuou-se a mineralização do material vegetal com os ácidos nítrico e perclórico, tendo o fósforo sido determinado pela redução do complexo fosfomolibídico com ácido ascórbico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho serão apresentados apenas os dados relativos ao fosfato de Araxá. Os resultados médios obtidos mostram que houve aumento de peso da matéria seca e do total fósforo absorvido e acumulado na parte aérea do sorgo, quando o nível de alumínio passou de 0,0 para 1,0 eq.mg de Al⁺⁺⁺/100 g solo, o que sugere efeito positivo do alumínio, direto ou indireto, na solubilização do fósforo contido no fosfato de Araxá (Quadro 2). Observa-se o contrário para os níveis mais elevados de alumínio, à exceção do nível 2,0 de alumínio para a maior dose de fósforo. Nesses tratamentos, os menores valores de peso médio de matéria seca e de fósforo acumulado (Quadro 2) podem ser explicados, provavelmente, pela possibilidade de os níveis mais elevados superarem o teto de tolerância do híbrido 'BR-600' ao alumínio. Na maior dose de fósforo houve atenuação dos efeitos tóxicos do alumínio trocável. Essa evidência também foi mostrada por outros pesquisadores, quando da ocorrência de fato semelhante (Suching, 1948, citado por FOY, 2; VIDOR e FREIRE, 8). O decréscimo da acumulação de fósforo na parte aérea, para os níveis mais altos de alumínio (Quadro 2), complementa essa evidência, uma vez que, de acordo com FOY e BROWN (3), a tolerância de uma espécie ou variedade ao alumínio está relacionada com a capacidade da planta para absorver e utilizar fósforo na presença de excesso de alumínio.

Para produção de matéria seca e absorção e acumulação de fósforo, ajustaram-se equações de regressão, considerando as doses de fósforo, os níveis de Al e

QUADRO 2 - Valores médios de produção de matéria seca da parte aérea e fósforo acumulado na parte aérea, considerando os níveis de alumínio trocável e as doses de fósforo de fosfato de Araxá, nos três tempos de incubação

| Níveis de Alumínio (eq.mg Al+/100g solo) | Doses de P (eq.mg Frações da C.M.A.F.) | Tempo de incubação (dias) | | | Fósforo absorvido (mg P/vaso) | Tempo de incubação (dias) | |
|---|--|---------------------------|--------|------|-------------------------------|---------------------------|------|
| | | Zero | | 60 | | | |
| | | 30 | 60 | Zero | 30 | 60 | |
| | | | | | | | |
| 0,0 | 0,88 | 1,01 | 0,95 | 0,35 | 0,39 | 0,37 | |
| 0,1 | 1,06 | 1,19 | 1,03 | 0,50 | 0,47 | 0,41 | |
| 0,2 | 1,21 | 1,18 | 1,05 | 0,55 | 0,56 | 0,53 | |
| 0,3 | 1,42 | 1,12 | 1,01 | 0,72 | 0,53 | 0,46 | |
| Médias | 1,14 | 1,12 | 1,01 | 0,53 | 0,49 | 0,42 | |
| | | | | | | | |
| 1,0 | 0,0 | 0,82 | 0,78 | 0,84 | 0,36 | 0,30 | 0,31 |
| | 0,1 | 1,32 | 1,19 | 1,01 | 0,71 | 0,76 | 0,58 |
| | 0,2 | 1,88 | 1,40 | 1,06 | 1,03 | 0,99 | 0,82 |
| | 0,3 | 2,31 | 1,52 | 1,21 | 1,36 | 1,05 | 0,72 |
| Médias | 1,58 | 1,22 | 1,03 | 0,86 | 0,77 | 0,51 | |
| | | | | | | | |
| 2,0 | 0,0 | 0,64 | 0,61 | 0,51 | 0,30 | 0,27 | 0,20 |
| | 0,1 | 0,98 | * 0,81 | 0,72 | 0,52 | 0,46 | 0,31 |
| | 0,2 | 1,60 | 1,32 | 0,89 | 1,02 | 0,97 | 0,88 |
| | 0,3 | 2,44 | 1,32 | 1,25 | 2,00 | 1,30 | 0,82 |
| Médias | 1,41 | 1,01 | 0,84 | 0,95 | 0,75 | 0,45 | |
| | | | | | | | |
| 3,0 | 0,0 | 0,49 | 0,45 | 0,48 | 0,22 | 0,21 | 0,24 |
| | 0,1 | 0,56 | 0,44 | 0,46 | 0,28 | 0,21 | 0,21 |
| | 0,2 | 0,77 | 0,52 | 0,50 | 0,51 | 0,27 | 0,24 |
| | 0,3 | 1,10 | 0,63 | 0,64 | 0,80 | 0,35 | 0,30 |
| Médias | 0,73 | 0,51 | 0,51 | 0,45 | 0,26 | 0,24 | |

* - Capacidade máxima de adsorção de fósforo.

os tempos de incubação. A equação referente à produção de matéria seca apresentou $R^2 = 81\%$; a referente à absorção e acumulação de fósforo, $R^2 = 75\%$.

Verificou-se, pelas equações ajustadas, que o fator dose incrementou a produção de matéria seca, efeito que foi diminuído pelo fator tempo de incubação. O mesmo ocorreu com a absorção de fósforo (Quadro 2). Verificou-se ainda que, para um mesmo nível de alumínio, principalmente os mais elevados, o aumento das doses de fósforo acentuou as diferenças existentes entre os tempos de incubação, favorecendo os tratamentos sem incubação. Com o prolongamento do tempo de contato fosfato-solo, o fenômeno de adsorção tenderia a atenuar o efeito dessa maior disponibilidade.

O ponto de máxima produção de matéria seca e de absorção e acumulação de fósforo, estimado com relação ao alumínio, ocorreu num mesmo nível para cada um desses parâmetros, independentemente da dose de fósforo e do tempo de incubação, 1,0 e 1,3 eq.mg Al⁺⁺⁺/100 g solo, respectivamente. Esse efeito do alumínio evidenciou-se quando se relacionaram produção de matéria seca e absorção de fósforo, quando cerca de 61,9% da variação foram causados, direta ou indiretamente, pela presença de alumínio.

O declínio da produção de matéria seca, bem como da absorção e acumulação de fósforo, contraria a idéia, geralmente aceita, de que o tempo de incubação favorece a maior disponibilidade de fósforo dos fosfatos naturais. O que, possivelmente, teria acontecido é que o fósforo liberado do fosfato de Araxá, pela ação, direta ou indireta, do alumínio, teria sido prontamente absorvido pela planta nos tratamentos sem incubação e teria tido novamente reduzida sua disponibilidade, seja por adsorção pelos colóides do solo, seja por precipitação em formas menos disponíveis, nos tratamentos em que o tempo de contato fosfato-solo foi mais prolongado. Isto é, nos tratamentos em que não houve incubação, o fósforo liberado foi prontamente absorvido, ao passo que, com mais tempo e caminhamento do sistema para novo equilíbrio, a disponibilidade dos íons $H_2PO_4^-$ foi reduzida, refletindo-se na absorção de fósforo e na produção de matéria seca.

Além da alteração que se verificou na produção de matéria e na absorção de fósforo, os tratamentos testados alteraram as frações de fósforo inorgânico do solo.

Os teores médios de P-Al e P-Fe (Quadro 3) no solo aumentaram com a elevação das doses de fósforo, dos níveis de alumínio e dos tempos de incubação, ao passo que o teor de P-Ca (Quadro 3) cresceu somente com o aumento das doses de fósforo, decrescendo com o aumento dos níveis de alumínio e dos tempos de incubação. Essa variação deve-se, possivelmente, ao efeito simultâneo de maior reatividade do ferro e do alumínio com o abaixamento do pH e maior disponibilidade de íon fosfato oriundo da solubilização da apatita. Admitindo-se essa hipótese, o aumento dessas formas está relacionado com maior solubilização da rocha fosfatada ou liberação do íon fosfato de acordo com o tempo de incubação, consoante com citações existentes na literatura (6, 9).

Confirma-se o exposto pelo decréscimo do P-Ca com o aumento do tempo de incubação. Isso também sugere que o decréscimo da produção de matéria seca e da absorção de fósforo com o aumento do tempo de incubação tenha sido resultado da redução da disponibilidade do fósforo solubilizado e não da diminuição da solubilização da rocha, como já foi postulado. A diminuição do P-Ca e o aumento do P-Al e do P-Fe evidenciam o efeito solubilizador, direto ou indireto, do alumínio sobre a rocha fosfatada. A equação de regressão ajustada para a quantificação do teor de P-Ca do solo, considerando os níveis de alumínio, as doses de fósforo e os tempos de incubação, indicou participação positiva do fator dose no aumento dessa forma de fósforo, bem como participação negativa da interação alumínio x dose. A interação negativa alumínio x dose indica que as diferenças entre as doses foram restringidas com o aumento dos níveis de alumínio.

QUADRO 3 - Valores médios de fósforo-alumínio (P-Al) fósforo-ferro (P-Fe) e fósforo-cálcio (P-Ca) do solo, considerando os níveis de alumínio trocável e as doses de fósforo do fosfato de Araxá, nos três tempos de incubação

| Níveis de alumínio (eq. ^{mg} _{Al⁺⁺⁺} /100g solo) (C.M.A.F.)* | Doses de P (Fragos da C.M.A.F.) | Tempo de incubação (dias) | | | Tempo de incubação (dias) | | |
|--|---------------------------------|---|--------------|--------------|---------------------------|-------|-------|
| | | Zero | | 60 | Zero | | 60 |
| | | F-Al (ppm P) | P-Fe (ppm P) | P-Ca (ppm P) | zero | 30 | 60 |
| Zero | 0,0 | 2,6 | 2,6 | 28,3 | 28,3 | 5,1 | 5,1 |
| | 0,1 | 3,9 | 4,7 | 39,9 | 43,4 | 82,2 | 81,4 |
| | 0,2 | 5,2 | 6,1 | 43,4 | 50,8 | 104,7 | 164,7 |
| | 0,3 | 5,6 | 6,5 | 45,2 | 52,7 | 291,8 | 234,7 |
| | Médias | 4,3 | 5,0 | 5,2 | 39,2 | 45,3 | 131,0 |
| | | 0,0 | 2,6 | 2,6 | 28,3 | 28,3 | 118,6 |
| 1,0 | 0,1 | 4,7 | 5,6 | 39,9 | 43,4 | 80,6 | 73,6 |
| | 0,2 | 5,6 | 6,5 | 47,1 | 52,7 | 157,2 | 150,1 |
| | 0,3 | 8,8 | 9,2 | 50,1 | 54,7 | 264,2 | 227,7 |
| | Médias | 5,4 | 6,0 | 6,3 | 41,5 | 45,0 | 111,2 |
| | | 0,0 | 2,6 | 2,6 | 28,3 | 28,3 | 5,8 |
| | 0,1 | 6,1 | 6,5 | 7,0 | 52,7 | 58,6 | 71,3 |
| 2,0 | 0,2 | 9,7 | 11,5 | 13,4 | 50,8 | 62,7 | 152,5 |
| | 0,3 | 10,6 | 14,8 | 16,2 | 58,6 | 67,0 | 75,9 |
| | Médias | 7,2 | 8,8 | 9,8 | 46,2 | 51,7 | 110,8 |
| | | 0,0 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 28,3 | 3,8 |
| | 0,1 | 6,1 | 9,7 | 13,4 | 45,2 | 56,6 | 67,0 |
| | 0,2 | 10,6 | 16,2 | 18,2 | 48,9 | 69,1 | 143,7 |
| | 0,3 | 12,4 | 23,7 | 24,7 | 60,7 | 71,3 | 223,1 |
| | Médias | 7,9 | 13,0 | 14,7 | 45,8 | 56,4 | 106,8 |
| | | 0,0 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 28,3 | 3,8 |
| 3,0 | 0,1 | 6,1 | 9,7 | 13,4 | 45,2 | 58,6 | 58,0 |
| | 0,2 | 10,6 | 16,2 | 18,2 | 48,9 | 69,1 | 143,2 |
| | 0,3 | 12,4 | 23,7 | 24,7 | 60,7 | 71,3 | 207,6 |
| | Médias | 7,9 | 13,0 | 14,7 | 45,8 | 56,4 | 101,6 |
| | | 0,0 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 28,3 | 3,8 |
| | * | Capacidade máxima de adsorção de fósforo. | | | | | |

4. RESUMO

Com o objetivo de verificar o efeito de níveis de alumínio trocável sobre a solubilização do fosfato de Araxá, em diferentes tempos de incubação, numa amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo cármbico álico, sob cerrado, de Minas Gerais, instalou-se um experimento em casa-de-vegetação, usando-se o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), híbrido 'BR-600', como planta indicadora.

Utilizaram-se quatro níveis de alumínio trocável (0, 1, 2 e 3 eq.mg Al⁺⁺⁺/100 g solo) e 4 doses de fósforo (0 – 0,1 – 0,2 e 0,3 da capacidade de máxima adsorção de fósforo do solo), levando-se em consideração o teor de P₂O₅ total do fosfato de Araxá. Os tempos de incubação (contato fosfato — solo) foram de zero, 30 e 60 dias. Determinaram-se os efeitos dos níveis de alumínio, das doses de fósforo e dos tempos de incubação sobre a solubilização do fosfato de Araxá, com base na matéria seca, no fósforo absorvido e acumulado na parte aérea e nas frações inorgânicas P-Al, P-Fe e P-Ca do solo.

Verificou-se crescente efeito solubilizador, direto ou indireto, do alumínio trocável sobre o fosfato de Araxá. O tempo de incubação reduziu a produção de matéria seca e a acumulação de fósforo, apesar de ter aumentado a solubilização do fosfato de Araxá. O híbrido de sorgo forrageiro testado apresentou tolerância ao alumínio até o nível de 1,0 eq.mg Al⁺⁺⁺/100 g solo. Houve eliminação da toxidez de alumínio no nível de 2,0 eq.mg Al⁺⁺⁺/100 g solo, quando se empregou a maior dose de fósforo.

5. SUMMARY

The effects of four levels of exchangeable Al in a Red Yellow Latosol and three incubation periods on the solubilization of the «Araxá» phosphate rock (PR), tested at four levels of P, were studied in a greenhouse experiment. The test plant was the sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) hybrid 'Br-600'. The solubilization of the PR increased with the incubation period once there was an increase in the Al — P and a decrease in the Ca — P inorganic soil P fractions. However, a negative effect of the incubation period on the available P to the plants was observed which caused a decrease in the dry matter yield. The effect of the levels of the soil exchangeable Al on the PR solubilization was positive and the Al toxicity observed at lower levels of P was eliminated when the was applied at the highest levels.

6. LITERATURA CITADA

1. BRAGA, J.M. *Avaliação da fertilidade do solo (Análise química do solo)*. I e II Parte. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1980. 150 p.
2. FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: E.W. Carson (ed.) *The plant root and its environments*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p. 601-642.
3. FOY, C.D. & BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils. II. Differential aluminum tolerance of plant species. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 28: 27-32. 1964.
4. FRANCO, M. *Fosfatos naturais parcialmente acidificados com H₃PO₄, HCl e H₂SO₄ na cultura de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), em um solo de cerrado de Ituiutaba, MG.*, Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 75 p. (Tese M.S.).

5. JACKSON, M.L. *Análises químico de suelos*. 2 ed. Barcelona, Omega, 1970. 662 p.
6. SOUZA, J. *Fosfatos naturais como fontes de fósforo, em diferentes períodos de incubação, em dois solos*. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária. 1977. 55 p. (Tese de M.S.).
7. VETTORI, L. *Métodos de análises do solo*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, EPE, 1969. 24 p. (Boletim Técnico n.º 7).
8. VIDOR, C. & FREIRE, J.B.B. Controle da toxidez de alumínio e manganês, em soja, pela calagem e adubação fosfatada. *Agronomia Sul Riogr.*, 8 (1): 87-94.
9. YOST, R.S., KAMPRATH, E.J., LOBATO, E., NADERMAN, G.C. & SOARES, W. V. Residual effect of phosphorus application. In: *Tropical Soils Research Program. Annual report for 1975*. Raleigh. North Carolina, U.S., 1976. p. 26-32.