

ALTERAÇÃO DA SOLUBILIDADE DO FOSFATO DE PATOS. I. EFEITO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS E DO TRATAMENTO TÉRMICO^{1/}

José Mário Braga^{2/}
Maria José Braga Neves^{3/}

1. INTRODUÇÃO

Em razão dos altos custos dos adubos fosfatados industrializados, pode-se recorrer, para aumentar a produção agrícola com o uso de fontes de fósforo, ao aumento da disponibilidade de fósforo dos fosfatos naturais. Para isso, podem ser usados processos físicos (redução do tamanho de partículas), aplicação de temperatura, com ou sem fundentes, mistura com outras fontes de fósforo ou de outros elementos e variação do modo de aplicação dos fosfatos naturais, para aproveitar melhor a interação solo, fertilizante e vegetal (1).

O uso de partículas menores de fosfato e a mistura com outras fontes de elementos têm menor custo operacional, em comparação com o retorno de fósforo dos fosfatos naturais. Seguem-se os demais métodos, como o uso, sem fundente, do tratamento térmico.

Nesta primeira série de ensaios, objetivou-se verificar o efeito do tamanho de partículas e do tratamento térmico sobre a solubilidade do fosfato de Patos.

^{1/} Trabalho de pesquisa financiado parcialmente pela Fundação Tecnológica do Estado de Minas Gerais e pela Financiadora de Estudos e Projetos.

Recebido para publicação em 21/10/1980.

^{2/} Departamento de Solos da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

^{3/} Departamento de Matemática da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Ensaio sobre tamanho de partículas

Neste ensaio foi usado um esquema fatorial formado por cinco solos, três níveis de fosfato de Patos e oito tamanhos de partículas da rocha fosfatada. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições. Dos solos, três foram coletados na região do Triângulo Mineiro e dois na região de Viçosa. As amostras foram tiradas à profundidade de 20 centímetros, destorroadas, secadas e divididas em grupos, de acordo com os tratamentos. Uma dessas amostras foi reservada para análise química e física (Quadro 1). Os níveis de fósforo usados corresponderam a 0,5, 1,0 e 2,0 vezes a capacidade máxima de adsorção de fosfato. Para o cálculo das quantidades de fosfato de Patos, foi considerado o teor total de P_2O_5 desse material. Os tamanhos de partículas foram: 10, 20, 40, 60, 80, 100, 150 e 200 malhas/polegada, obtidos por peneiragem do material comercial.

Feita a mistura das amostras de solo com o fosfato, foram colocados dois quilos da mistura em vasos plásticos; neles foram plantadas 25 sementes de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Depois de 45 dias, fez-se o corte da parte aérea, que foi posta para secar e pesada posteriormente. Durante todo o ensaio, a umidade do solo contido nos vasos foi conservada próxima da 'capacidade de campo'. Todos os vasos receberam adubação básica e, semanalmente, foi aplicada solução nutritiva, com macro e micronutrientes (3). Houve rodízio semanal dos vasos, em cada repetição.

Depois do primeiro corte, o solo de cada vaso foi posto para secar e as raízes foram separadas. Instalou-se novo ensaio, nos mesmos moldes do anterior, omitindo a adição de fosfato de Patos.

2.2. Ensaio sobre tratamento térmico e tamanho de partículas

Neste ensaio, usou-se o esquema fatorial formado por amostras de fosfato de Patos, separadas em quatro tamanhos de partículas (50, 100, 150 e 200 malhas/polegada). Cada tamanho foi submetido a quatro temperaturas (25, 500, 700 e 900°C, durante 30 minutos). O delineamento usado foi o de blocos inteiramente casualizados, com três repetições. Foi usado um Latossolo Vermelho-Escuro, fase mata, da região de Machado — Sul de Minas, cujas amostras foram coletadas à profundidade de 20 centímetros, sendo uma subamostra usada para análise física e química (Quadro 1). A dose aplicada de fosfato de Patos foi única, correspondente à capacidade máxima de adsorção de fosfato, considerando o teor total de P_2O_5 do material.

Feita a mistura do solo com o fosfato, foram colocados dois quilos da mistura em vasos plásticos, que foram levados para casa de vegetação. Outros procedimentos usados foram os mesmos do ensaio 2.1. Após a pesagem, o material vegetal seco foi moído, e o teor de fósforo foi analisado.

2.3. Ensaio sobre tratamento térmico e tempo de incidência da temperatura.

Neste ensaio foi usado o esquema fatorial formado por amostra de fosfato de Patos submetida às temperaturas de 100, 200, 300, 400, 500, 600 e 700°C, durante 6, 12, 18 e 24 horas. O delineamento usado foi o de blocos inteiramente casualizados, com três repetições. Usou-se um Latossolo Vermelho-Escuro, de Ituiutaba, textura média, cuja amostra foi coletada à profundidade de 20 centímetros (Quadro 1). A dose aplicada de fosfato de Patos correspondeu à capacidade máxima de adsorção de fosfato, considerando o teor total de P_2O_5 do material.

QUADRO 1 - Resultados das análises química e física de amostras dos solos usados no ensaio de tamanho de partículas, temperaturas e tempo de incidência das temperaturas

Características	Símbolo Local Classif.	Solos Usados											
		T-1	T-2	T-4	TG	SE	MA	T-1	T-2	T-4	TG	SE	MA
		Ituitaba LEdm	CEPET LRd	Campo Florido LRd	Viçosa LRd	Viçosa LV	Machado LEdm	Ituitaba LEdm	CEPET LRd	Campo Florido LRd	Viçosa LRd	Viçosa LV	Machado LEdm
Areia grossa (%)		57	8	12	18	26	23						
Areia fina (%)		26	10	26	11	17	12						
Silte (%)		7	26	30	19	7	15						
Argila (%)		10	56	32	52	50	50						
Ca ⁺⁺ eq.mg/100 g (1)		0,2	3,8	0,2	0,2	0,2	0,2						
Mg ⁺⁺ eq.mg/100 g (1)		0,04	1,1	0,08	-	0,04	-						
Al ⁺⁺⁺ eq.mg/100 g (1)		0,35	-	0,05	1,85	1,35	0,55						
H + Al eq.mg/100g (2)		2,31	3,13	5,77	13,03	9,73	8,74						
P (ppm) (3)		2	7	1	3	3	1						
K (ppm) (3)		38	72	44	32	28	30						
MO (%) (4)		1,47	4,28	3,35	6,16	5,22	4,42						
pH - H ₂ O		5,4	6,0	5,4	4,2	4,4	4,4						
cma mg P/g solo (5)		0,357	0,346	0,964	0,868	0,835	0,949						

(1) - Extração com KCl 1 N

(2) - Extração com acetato de cálcio 1 N, pH = 7

(3) - Extração com H₂SO₄ 0,025 n + HCl 0,05 N

(4) - Método de Walkley-Black

(5) - Capacidade máxima de adsorção.

Feita a mistura do solo com o fosfato, colocaram-se dois quilos da mistura em vasos plásticos, que foram levados para casa de vegetação. Outros procedimentos usados foram os mesmos do ensaio 2.1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de peso de sorgo obtidos no ensaio de tamanho de partículas sugerem que o menor tamanho de partículas do fosfato de Patos favorece o maior aproveitamento desse material pelo vegetal. Esse fato foi observado considerando principalmente dois fatores que devem ter influenciado ainda mais a disponibilidade de P do fosfato: o tipo e o pequeno volume de solo, comparativamente ao grande volume de raízes.

O primeiro fator foi importante, haja vista que o peso médio de sorgo difere, conforme o solo e o tamanho das partículas (Quadro 2). A maior média foi atingida no solo T-4, seguindo-se o T-2, o T-1, o SE e o TG no 1.º cultivo. Esses valores mostraram-se inversamente correlacionados com os teores de alumínio trocável do solo (significância a 1%). Assim, nos solos com maiores teores de alumínio, a média do peso do sorgo foi menor. Isso quer dizer que o alumínio, atuando sobre a solubilização do fosfato, provocou, ao mesmo tempo, maior adsorção do fósforo liberado (2, 3). Entretanto, em cada solo, quanto menor o tamanho das partículas, maior o peso médio do sorgo, muito embora tenham sido diferentes os coeficientes da relação entre o tamanho das partículas e o peso do sorgo. À exceção do solo T-4, a relação foi sempre linear, e os coeficientes de regressão foram positivamente correlacionados com o peso do sorgo (r significativo a 1%). Esse fato demonstra que o tamanho das partículas exerceu efeitos diferentes em cada um dos solos testados, e os maiores efeitos apareceram em solos cujo teor de alumínio era menor. É necessário ressaltar também o efeito do Al isoladamente (toxicidade) ou, então, a interação fosfato x alumínio x vegetal.

No caso do solo T-4, embora os dados possam ser ajustados a uma equação do segundo grau, o tamanho de partículas que provoca o máximo do peso do sorgo é próximo do menor tamanho usado neste ensaio. Isso mostra que, para efeitos práticos, quanto mais fino for o fosfato, dentro dos limites testados, maior será seu aproveitamento pelo vegetal.

Quando as partículas de fosfato eram mais grosseiras (mais de 60 malhas/polegada), não se observou diferença entre as doses: as três doses usadas causaram efeitos semelhantes. Para os tamanhos menores que 60 malhas/polegada, os efeitos diferenciam-se e a maior média foi obtida com a maior dose e no tamanho de 200 malhas/polegadas.

No segundo cultivo houve efeito significativo da interação solo x granulometria, para dose, solo e granulometria. Vêem-se no Quadro 2, comparadas, as médias da interação solo x granulometria. Observa-se que as maiores médias são as dos solos T-2 e T-4. Nesses dois solos, as maiores médias foram obtidas quando se usou o fosfato na granulometria de 200 malhas/polegadas. Mas, no solo T-2, a diferenciação das médias inicia-se em 60 malhas/polegadas e no solo T-4 em 80 malhas/polegadas.

O efeito do tamanho de partículas também foi observado no ensaio no qual foram testados o tamanho de partículas e o tratamento térmico (Quadros 3 e 4). Observa-se que o tamanho de partículas relacionou-se linear e inversamente com o peso de sorgo e com o fósforo absorvido, não sendo observado efeito da interação com a temperatura sobre os dois parâmetros avaliados. Já a temperatura provocou efeito contrário ao do tamanho de partículas. Com a elevação da temperatura, houve diminuição na disponibilidade de fósforo no fosfato de Patos, possivelmente por causa da perda de água e de CO₂ dos componentes acessórios do mate-

QUADRO 2 - Efeito do tamanho de partículas do fosfato de Patos sobre o peso de sorgo. Primeiro e segundo cultivos

Tamanho Partículas	Primeiro Cultivo					Segundo Cultivo				
	Solos					Solos				
	T-1	T-2	T-4	TG	SE	T-1	T-2	T-4	TG	SE
	----- g/vaso -----					----- g/vaso -----				
10	1,42 cC	2,87 BA	2,20 dB	1,14 abc	1,25 bc	1,1 abc	1,8 cA	1,5 deAB	0,8 bc	0,7 aC
20	1,59 cC	2,80 BA	2,21 dB	1,01 abc	1,52 abc	1,4 aB	2,0 cA	1,4 eB	0,9 bc	0,8 aC
40	1,58 bcC	2,74 BA	2,40 dB	0,98 bc	1,48 abc	1,0 aB	1,9 cA	1,4 cA	1,3 aA	0,7 aB
60	1,54 bcC	2,78 BA	2,62 dB	1,24 abc	1,35 abc	1,3 aC	2,3 bcA	2,0 cdAB	1,2 abc	0,8 aD
80	1,73 bcC	3,12 BA	3,68 cB	0,99 dD	1,55 abc	1,3 bcC	2,7 BA	1,7 cB	1,0 abcd	0,6 aD
100	2,02 abc	3,18 abB	4,67 BA	1,52 aD	1,64 abc	1,2 aB	2,8 abA	2,7 abA	1,3 aB	0,7 aC
150	2,02 abB	3,18 abA	4,67 BA	1,52 aB	1,64 abB	1,4 aB	2,7 BA	2,2 bcA	1,2 abB	0,7 aC
200	2,49 aB	3,71 aA	5,55 aA	1,50 aC	1,80 aC	1,5 aB	3,3 aA	3,2 aA	1,2 abB	0,8 aC

As médias, dentro de cada cultivo, seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, e mesmas letras maiúsculas, nas linhas, não se diferenciam estatisticamente, a 5%, pelo teste de Tukey.

QUADRO 3 - Efeito do tamanho de partículas e da temperatura sobre o peso médio de sorgo e fósforo absorvido

Tempe- ratura	Peso Sorgo			Média	Fósforo Absorvido		
	Granulometria (malhas/polegada)				Granulometria (malhas/polegada)		
	50	100	150		50	100	150
25	4,6 a	4,6 ab	5,2 a	5,0	0,26 a	0,28 ab	0,38 a
500	3,8 ab	4,7 ab	5,1 a	4,5	0,21 a	0,29 ab	0,30 ab
700	3,6 b	4,9 a	4,8 ab	4,6	0,21 a	0,33 a	0,34 a
900	3,6 b	3,8 b	3,8 c	3,7	0,19 a	0,22 b	0,22 b
Média	3,9 B	4,5 B	4,7 AB	4,5 B	0,22 A	0,28 A	0,31 A

Letras iguais expressam médias não significativamente diferentes para uso de sorgo e fósforo absorvido, a 5%, pelo teste de Tukey.

QUADRO 4 - Efeito da temperatura e do tempo de permanência da temperatura sobre o peso do sorgo

Tempo	Temperatura (0°C)					Média		
	100	200	300	400	500		600	700
Horas	----- mg P/vaso -----							
6	6,77	7,67	7,23	9,03	8,40	6,60	7,40	7,59
12	6,23	7,93	8,77	8,47	6,33	7,23	6,97	7,42
18	6,67	7,77	7,80	7,60	7,60	7,17	3,90	7,07
24	6,63	8,93	9,03	7,83	9,23	7,20	5,90	7,82
Média	6,58a	8,08a	8,21a	8,24a	7,89a	7,30ab	6,04b	7,23

As médias seguidas da mesma letra não são diferentes estatisticamente, ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

rial fosfatado. Com isso, a solubilidade dos fosfatos em ácidos aumenta, não acontecendo o mesmo com a disponibilidade de P. Esses dados são coerentes com o exposto por SAUCHELLI (5), que diz que a reatividade dos fosfatos decresce com a elevação da temperatura, muito embora isso dependa do tipo de rocha com que se trabalha. São, entretanto, contrários às conclusões de MATTOS (4).

O mesmo efeito de temperatura foi observado na quantidade de fósforo absorvido (Quadro 3). O efeito desse parâmetro diminuiu à medida que houve aumento da temperatura, sendo o valor mínimo atingido quando a temperatura era de 233º C. Daí em diante a quantidade de fósforo absorvido aumentou. No terceiro ensaio, porém, quando a amplitude da temperatura variou de 100 a 700º, houve resposta a essa variação, e os dados ajustaram-se à regressão do segundo grau, com valor de 352ºC, provocando o peso máximo de sorgo. Entretanto, os efeitos do tempo e da interação tempo x temperatura não foram significativos.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Com a finalidade de estudar o efeito do tamanho de partículas, da temperatura e da permanência de temperatura por diferentes períodos de tempo foram instalados três ensaios, em casa de vegetação, usando como fonte natural o fosfato de Patos e como vegetal indicador o sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). No 1.º ensaio foi usado um esquema fatorial com cinco solos, oito tamanhos de partículas (10, 20, 40, 60, 80, 100, 150 e 200 malhas/polegadas) e três doses (0,5, 1 e 2 vezes a capacidade máxima de adsorção); no 2.º ensaio foram testados quatro tamanhos (50, 100, 150 e 200), submetidos a quatro temperaturas (25, 500, 700 e 800ºC); e no 3.º ensaio testaram-se sete temperaturas (100, 200, 300, 400, 500, 600, 700), em quatro períodos de tempos (6, 12, 18, 24 horas). O delineamento usado no ensaio I foi o de blocos ao acaso; nos demais, blocos inteiramente casualizados, com três repetições.

Esses trabalhos permitiram as seguintes conclusões:

Quanto menor o tamanho de partículas, maior o aproveitamento do fosfato de Patos pelo sorgo.

Nos solos com baixos teores de alumínio trocável há maior disponibilidade de fósforo nas partículas menores.

O efeito residual do fosfato está relacionado com o menor tamanho das partículas, principalmente nos solos com menor teor de alumínio trocável.

O tratamento térmico provoca diminuição na disponibilidade de P do fosfato de Patos, conforme a temperatura usada.

O período de tempo em que o fosfato de Patos permaneceu na mesma temperatura não teve influência na disponibilidade do fosfato.

5. SUMMARY

Experiments were carried out to study the effects of particle size, temperature and the periods of time at several temperatures on the solubility of Patos phosphate and phosphorus uptake by sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the greenhouse. In experiment I, a factorial scheme with eight particle sizes (10, 20, 40, 60, 80, 100, 150 and 200 mesh), three levels of phosphate and five soils was used; in experiment II, four particle sizes (50, 100, 150 and 200 mesh) were used, each one tested at four temperatures (25, 500, 700 and 900ºC) and, in experiment III, the Patos phosphate was treated at seven temperatures (100, 200, 300, 400, 500, 600 and 700ºC) during four time periods (6, 12, 18 and 24 hours). A randomized block design was used in experiment I and a completely randomized block design in experiments II and III.

The conclusions were:

— As particle size decreased, the availability of Patos phosphate increased to sorghum;

— The phosphorus of Patos was more available in soils in which the exchangeable aluminum was low;

— The residual effect of phosphate was related to particle size, principally in soils where the exchangeable aluminum was small;

— The solubility of the Patos phosphate decreased as temperature increased; and,

— The time periods of temperature treatments did not influence the phosphate availability.

6. LITERATURA CITADA

1. BRAGA, J.M. *Resultados experimentais com o uso de fosfato de Araxá e outras fontes de fósforo*. Viçosa, UFV, 1970. 61 p. (Boletim — Série Técnica, 21).
2. BRAGANÇA, J.B. *Solubilização de fosfato de Araxá em diferentes tempos de incubação em um solo com diferentes níveis de Al trocável*. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1979. 69 p. (Tese de M.S.).
3. CANTARUTTI, R.B. *Época de aplicação de fosfato natural, em relação à calagem, num solo com elevado teor de alumínio trocável*. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1980. 44 p. (Tese de M.S.).
4. MATTOS, P.L.P. *Tratamento térmico dos fosfatos de Araxá e de Patos — Solubilização em ácido cítrico, absorção de fósforo e produção de matéria seca pelo sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)*. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1976. 31 p. (Tese de M.S.).
5. SAUCHELLI, V. *Phosphates in Agriculture*. Reinhold, New York, 1965. 227 p.