

FIXAÇÃO DE FÓSFORO POR UM CAMBISOL DO ESTADO DE SERGIPE E SEU VALOR "X" (WAUGH & FITTS, 1966)*

Lafayette Franco Sobral ¹
Francisco de A.F. de Mello ²

INTRODUÇÃO

A capacidade de fixação de fósforo pelos solos há muito tempo vem sendo estudada, porém os resultados encontrados ainda não apresentam caráter conclusivo, pois, muitos dos aspectos relacionados com o fenômeno ainda não estão devidamente esclarecidos.

Quando os fosfatos são adicionados ao solo, passam por transformações que culminam com a diminuição da sua disponibilidade para as plantas. Assim é que, em solos de regiões tropicais, FASSBENDER (1969) concluiu que a capacidade de fixação de fósforo variou entre 9,7% e 94,1% do fosfato aplicado.

O objetivo deste trabalho foi o de estudar a capacidade de fixação de fosfato de um Cambisol do Estado de Sergipe e seu valor "X" (WAUGH & FITTS, 1966).

* Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor.

¹ EMBRAPA.

² Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba.

REVISÃO DA LITERATURA

Segundo KARDOS (1964), os tipos de reações através das quais o fósforo é fixado, podem ser colocados em três grupos: adsorção, precipitação e substituição isomórfica.

De acordo com HSU (1965), a precipitação ocorre quando o fosfato remove Al^{+3} ou Fe^{+3} da rede cristalina, precipitando-se em uma nova fase. Por sua vez, a adsorção de fosfato é um caso especial de precipitação no qual o Al^{+3} e o Fe^{+3} permanecem como constituintes da fase original e reagem com os íons fosfatos através de forças residuais, existentes nas superfícies das partículas. A penetração do fósforo na rede cristalina por substituição isomórficas com SiO_2 ou por deslocamento de hidroxilas, foi verificado por STOUT (1939), na haloisita, e confirmado posteriormente por COLE & JACKSON (1950).

De acordo com HEMWALL (1957), os componentes dos solos ácidos que são responsáveis pela fixação de fósforo, podem ser divididos em dois grupos: compostos de ferro e alumínio e minerais de argila. Os compostos de ferro e alumínio, compreendem não só os fosfatos insolúveis como também absorção aos óxidos hidratados dos citados elementos. Porém, MELLO (1977) comenta que embora a reação inicial possa ser de superfície, os compostos formados posteriormente são provavelmente idênticos àqueles formados por precipitações diretas.

HEMWALL (1957) observa que a fixação de fósforo em solos alcalinos e calcários é usualmente atribuída a formação de fosfatos de cálcio. Porém, de acordo com MELLO (1972), a fixação de fósforo nestes solos pode, também, ser atribuída à precipitação do fosfato sobre as partículas do $CaCO_3$ e à retenção pelas argilas saturadas com cálcio. Por sua vez, BOHN & PEECH (1969) e RACZ & SOPER (1967) acham que nestes solos também pode ocorrer a formação de fosfatos de magnésio. De acordo com COLE et alii (1953), o carbonato de cálcio tende a diminuir a solubilidade do fósforo, porém segundo o autor, existem

poucas informações sobre as reações que ocorrem quando há aplicação de adubos fosfatados. No entanto, segundo LINSLEY *et alii* (1962), quando o fósforo é aplicado em solos com alto teor de cálcio aparecem compostos como fosfato bicálcico bihidratado $\text{CaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ e/ou fosfato octocálcico $\text{Ca}_8\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$. CHANG & JACKSON (1957), concluem que nestes solos os compostos de ferro e alumínio são também responsáveis por alguma fixação de fosfato.

Além da fixação do fósforo pela fração inorgânica do solo, pode ocorrer ainda a fixação biológica, isto é, a utilização de fosfatos pelos microorganismos do solo (MELLO, 1972).

Os dados existentes na literatura, sobre a influência da matéria orgânica na fixação de fósforo, não são conclusivos. Pois, enquanto DALTON *et alii* (1952) e BUCKMAN & BRADY (1974) concluem que a matéria orgânica diminuiu a fixação de fósforo, LEAL (1973) encontrou correlação significativa e positiva entre adsorção máxima de fósforo e teor de matéria orgânica em solos de "cerrado", resultados confirmados por LOURENÇO (1973), trabalhando com solos do Paraná.

A quantidade de fósforo fixada pelo solo é influenciada pelos seguintes fatores: características físico-químicas do solo (conteúdo e tipo de argila, natureza dos cátions trocáveis, matéria orgânica, teor de umidade do solo), temperatura, concentração de fosfatos, pH e tempo de reação (MELLO, 1972).

Segundo HEMWALL (1957), somente 10% a 30% dos fosfatos aplicados como fertilizantes são aproveitados pelas plantas, o restante permanecendo "fixado" na parte sólida do solo.

A capacidade de fixação de fósforo por solos do Brasil foi estudada por vários autores (MELLO, 1968; CATTANI & PELLEGRINO, 1957; LEAL, 1973; MAGALHÃES, 1974 e REZENDE, 1974).

MATERIAL E MÉTODOS

Solos

O solo que serviu para os ensaios é um cambisol eu trôfico, argila de atividade alta, C carbonático, A moderado, textura argilosa, fase caatinga hipoxerofila, relevo suave ondulado, substrato calcário (SUDENE, 1973), e suas características físicas e químicas podem ser vistas nos quadros I e II.

Ensaio de laboratório

O método utilizado foi o de WAUGH & FITTS (1966), que pode ser descrito da seguinte maneira:

Preparou-se uma solução estoque contendo 2500 ppm, de P, cuja fonte utilizado foi o $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, a partir da qual, por diluição, conseguiram-se soluções com concentrações crescentes de fósforo, variando de 0 a 600 ppm de P, (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600 ppm P).

Pesaram-se porções de terra fina seca ao ar equivalentes a 10 g de terra fina seca em estufa colocando - as em erlenmeyers de 125 ml. Em seguida adicionaram-se 4 ml da solução correspondente a cada tratamento, sendo que para a dose zero juntaram-se 4 ml de água destilada. A adição foi feita por meio de uma pipeta, gota a gota, de modo a cobrir toda a superfície das amostras, contidas nos erlenmeyers.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com 10 tratamentos e três repetições.

Após a adição das soluções de fósforo, cobriram-se os erlenmeyers para evitar a evaporação e as amostras ficaram em incubação por um período de 4 dias.

QUADRO I - Resultados das análises físicas do Cambisol que serviu para o ensaio.

Prof. cm.	Composição granulométrica %							Densidade g/cm ³		U %			
	Areia			Limo		Argilla	Argilla natural %	Grau de floculação %	Aparente	Real	1/3 Atm	15Atm	
	multo grossa	média	fina	multo fina									
0 - 20	1,6	3,5	2,0	4,5	12,1	37,5	38,8	15,7	59	1,65	2,41	23,80	17,90
20 - 40	2,2	2,9	1,9	5,1	11,2	36,0	40,7	17,5	57	-	2,53	23,17	-

QUADRO II - Resultados das análises químicas do Cambisol que serviu para os ensaios.

	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
pH em água	6,90	7,10
pH em KCl	6,10	6,00
P solúvel ppm	2,06	2,06
P ₂ O ₅ total (%)	0,0043	0,0031
Fe ₂ O ₃ total (%)	5,04	5,41
Al ₂ O ₃ total (%)	10,02	10,81
SiO ₂ total (%)	16,98	17,91
TiO ₂ total (%)	0,41	0,41
Ki	2,88	2,82
Kr	2,18	2,14
Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	3,12	3,14
Fe ₂ O ₃ livre (%)	1,35	1,58
CaCO ₃ eq. (%)	12,10	12,15
C (%)	1,20	0,81
N (%)	0,18	0,13
C/N	6,66	6,23
Ca ⁺² (e.mg/100g)	14,32	14,33
Mg ⁺² (e.mg/100 g)	2,25	1,92
K ⁺ (e.mg/100 g)	0,47	0,08
Na ⁺ (e.mg/100 g)	0,19	0,24
S (e.mg/100 g)	17,17	16,57
H ⁺ (e.mg/100 g)	2,08	1,52
Al ⁺³ (e.mg/100 g)	0,00	0,00
T (e.mg/100 g)	19,25	18,09
V (%)	89,19	91,59

Foi confeccionada uma curva padrão para o fósforo de acordo com a metodologia proposta por CATANI *et alii* (1957), com as seguintes modificações:

- 1 - Transferiram-se para tubos de ensaio 0,25, 0,50, 1,00, 2,00 e 3,00 ml do padrão completando -se a um volume de 5 ml com H_2SO_4 0,05 N através de microbureta.
- 2 - A cada tubo adicionaram-se 10 ml de solução sulfo-bismutomolibdica e 3 gotas de ácido ascórbico a 20%.

Determinou-se uma equação de regressão linear a qual foi utilizada para cálculo de concentração do elemento.

Após o período de incubação, procedeu-se a extração do fósforo assimilável usando-se o H_2SO_4 0,05 N como extrator e determinação no fotocolorímetro segundo CATANI *et alii* (1957), com algumas modificações as quais são descritas a seguir.

Foram transferidos 5 ml dos sobrenadantes para tubos de ensaio, adicionando-se em seguida, a cada tubo, 10 ml de solução sulfo-bismuto-molibdica e 3 gotas de ácido ascórbico a 20%. Em alguns tratamentos, procedeu-se uma diluição de 1:10.

O fósforo fixado foi calculado da seguinte maneira:

$$P_f = (P_a + P_s) - P_e$$

P_f = fósforo fixado

P_a = fósforo adicionado

P_s = fósforo solúvel existente no solo

P_e = fósforo extraído

Ensaio em casa de vegetação

Foi conduzido em casa de vegetação um ensaio em vasos estudando níveis crescentes de fósforo (0, 50, 100, 200, 400 ppm P) tendo como fonte o $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. O delineamento usado foi o inteiramente casualizado com cinco tratamentos e três repetições. A quantidade de solo por vaso foi de 2 kg, a qual foi pesada e misturada uniformemente com a quantidade do $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ correspondente a cada tratamento.

Foram adicionados a cada vaso 100 ml de uma solução nutritiva preparada segundo a metodologia proposta por WAUGH & FITTS (1966). Em seguida, adicionou-se água aos vasos até aproximadamente a capacidade de campo, cobrindo-os com papel para evitar evaporação, deixando-os sem qualquer tratamento durante uma semana, depois da qual efetuou-se o plantio.

A planta indicadora utilizada foi o painço (*Setaria italica* Beauv.). Foram plantadas aproximadamente cinquenta sementes visando garantir um "stand" uniforme de 25 plantas por vaso após o desbaste, o qual foi efetuado 6 dias após a germinação.

Semanalmente eram adicionados 100 ml de solução nutritiva e através da pesagem dos vasos era reposta a água perdida inicialmente por evaporação e depois pela evapotranspiração, deixando-os sempre com um teor de umidade próximo da capacidade de campo.

Durante o decorrer do ensaio, efetuou-se o rodízio dos vasos, para evitar o efeito de local.

O ensaio foi colhido quarenta dias após o plantio, cortando-se as plantas a altura do colo, determinando-se a massa da matéria seca em estufa de circulação de ar a 65 - 70°C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Capacidade de fixação de fósforo. Eleição e teste do valor "X"

Os resultados do ensaio onde estudou-se a capacidade de de fixação de fósforo do Cambisol estão no quadro III. A análise estatística mostrou efeito altamente significativo para tratamentos observando-se que com o aumentadas doses de fósforo a fixação aumenta em termos absolutos (ppm P fixado), mas diminui em termos relativos (% P fixado). Estes resultados estão de acordo com os encontrados por REZENDE (1974) e MAGALHÃES (1974).

Embora no presente trabalho não se tivesse a intenção de estudar os mecanismos de fixação de fósforo supõe-se que no solo em estudo, a fixação de fosfato se deve principalmente a formação de fosfatos de cálcio e a precipitação de fosfato sobre as partículas de CaCO_3 pois observando-se o quadro II, podemos notar os altos teores de cálcio tanto na forma trocável quanto na forma de CaCO_3 equivalente.

Segundo WAUGH & FITTS (1966), o valor "X" é uma aproximação da quantidade de fósforo requerida para ultrapassar o efeito da fixação do elemento, aumentando a disponibilidade do mesmo às plantas.

Na figura 1, pode ser observada a relação entre fósforo adicionado e fósforo extraído com H_2SO_4 0,05 N. O valor "X" escolhido, de acordo com a metodologia proposta por WAUGH & FITTS (1966), foi de 100 ppm de P.

Os resultados do ensaio em vasos onde testou-se o valor "X" escolhido, estão no quadro IV. A produção muito baixa do tratamento sem fósforo, de uma certa forma, comprova a eficiência do extrator ácido utilizado (H_2SO_4 0,05N), pois, o mesmo somente conseguiu extrair do solo, 2 ppm de P. Com a aplicação de 50 ppm de P, a produção de matéria seca da planta indicadora utilizada, foi au-

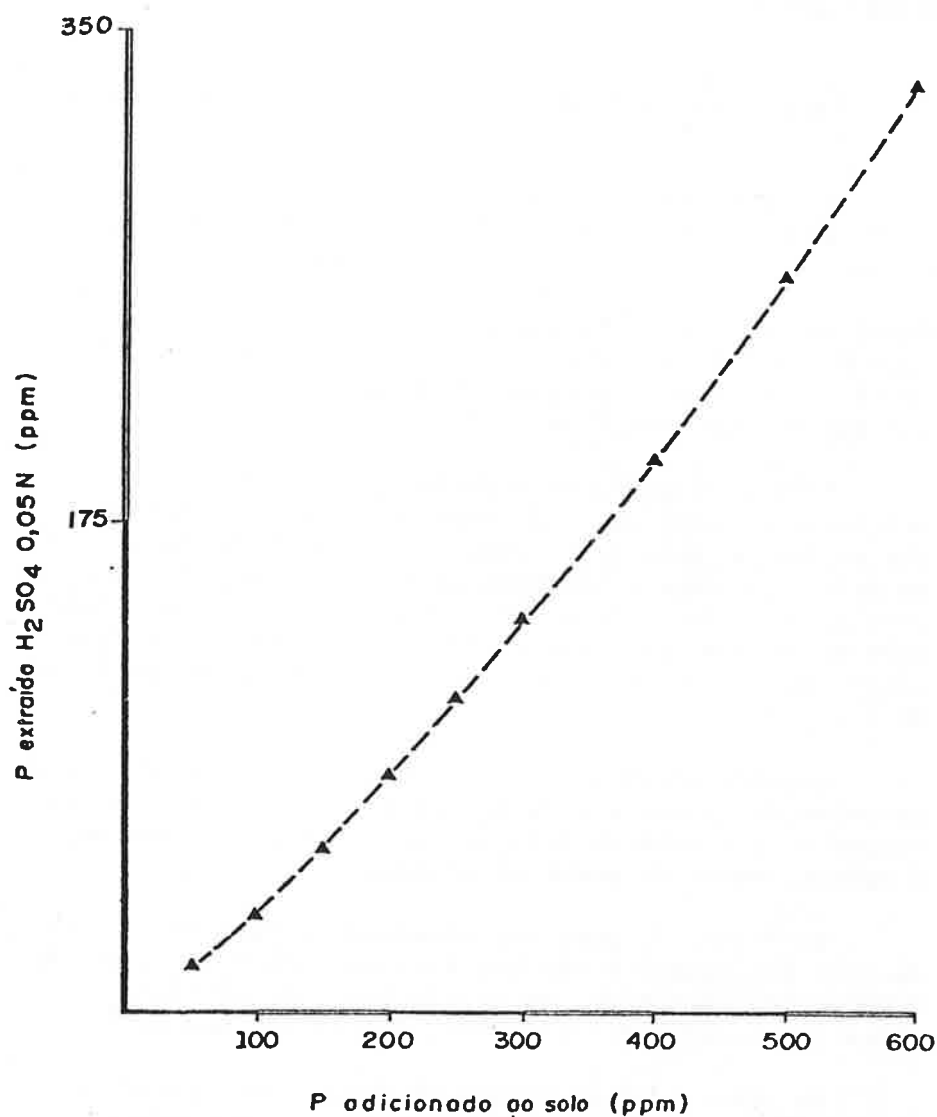


FIGURA 1 - Representação gráfica da relação entre as quantidades de fósforo extraído (H₂SO₄ 0,05N) e adicionado.

QUADRO III - Influência de doses crescentes de fósforo na capacidade de fixação do elemento pelo Cambisol.

fornecido ao solo	P fixado	
	ppm	%
0	-	-
50	36,65	73,30
100	67,08	67,08
150	91,82	61,21
200	116,04	58,02
250	137,12	54,85
300	157,79	52,59
400	203,36	50,84
500	234,49	46,89
600	269,01	44,83

CV% = 1.15 \bar{x} = 145.93 ppm P DMS Tukey 1% = 5,90ppm P

QUADRO IV - Produção de matéria seca (g/vaso) por plantas de painço (*Setaria italica*, Beauv.), em função da quantidade de fósforo aplicado tendo como base o valor "X".

Valor "X" ppm P	P aplicado (ppm)				
	0	50	100	200	400
100	0.27	6.31	9.34	11.48	10.58

CV% = 16.5 DMS Tukey 5% = 3.35g DMS Tukey 1% = 4.43g

mentada em mais de vinte vezes. Por sua vez, quando da aplicação de 100 ppm a produção de matéria seca quase duplicou, não havendo aumentos significativos a partir dessa dose ratificando o valor "X" escolhido.

RESUMO E CONCLUSÕES

Foi efetuado um ensaio para estudar a capacidade de fixação de fosfato e o valor "X" de WAUGH & FITTS (1966) de um Cambisol do Estado de Sergipe.

As conclusões são as seguintes:

- a - Quando se aumentaram as quantidades de fósforo adicionada, a fixação aumentou em termos absolutos (ppm de P fixado), mas diminuiu em termos relativos (% P fixado).
- b - O valor "X" eleito foi de 100 ppm.
- c - O experimento em vasos confirmou o valor "X" eleito.

SUMMARY

FIXATION CAPACITY OF PHOSPHORUS OF A CAMBISOL FROM THE STATE OF SERGIPE, BRAZIL, AND ITS "X" WAUGH & FITTS VALUE

An experiment was carried out in order to study the fixation capacity of phosphate of a Cambisol from the State of Sergipe, Brazil and its "X" WAUGH & FITTS (1966) value.

The main conclusions were as follows:

- a - Absolute values of phosphorus fixation (ppm of fixed P) increased with the rate of added phosphorus while the relative fixed values decreased (%).
- b - The selected "X" value was 100 ppm of P.
- c - The pot experiment confirmed the selected "X" value.

LITERATURA CITADA

- BOHN, H.L & M. PEECH, 1969. Phosphatoiron (III) and phosphatoaluminum complexes in dilute solutions. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 33(5): 837 - 838.
- CATANI, R.A. & A.O. JACINTHO, 1974. Análise química para avaliar a fertilidade do solo. Bol. téc. cient. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, nº 37.
- CATANI, R.A. & D. PELLEGRINO, 1957. A fixação do fósforo em alguns solos do Estado de São Paulo, estudado com o auxílio do fósforo radioativo ³²P. *Rev. Agric.* 32: 237-252.
- CHANG, S.C. & M.L. JACKSON, 1957. Solubility product of iron phosphate. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 21: 265-269.
- COLE, C.V. & M.L. JACKSON, 1950. Solubility equilibrium constant of dihydroxy aluminum dihydrogen phosphate relating to a mechanism of phosphate fixation in soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 15: 84-89.
- COLE, C.V., S.R. OLSEN & C.O. SCOTT, 1953. The nature of phosphate sorption by calcium carbonate. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 17: 352-356.

- DALTON, J.D., RUSSEL, G.C., SIELING, D.H., 1955. Effect of organic matter on phosphate availability. **Soil Sci.** 73: 173-181.
- FASSBENDER, H.W., 1969. Phosphorus fixation in tropical soils. **Agrí. Digest.** 18: 20 - 28.
- HEMWALL, J.B., 1957. The fixation of phosphorus by soils. **Adv. Agron.** 9: 95-112.
- HSU, P.H., 1965. Fixation of phosphates by aluminum and iron in acidic soils. **Soil Sci.** 99: 398 - 402.
- KARDOS, L.T., 1964. Soil fixation of plant nutrients. In: BEAR, F.E. Chemistry of the soil, New York, Reinhold, p. 369 - 94.
- LEAL, J.R. & A.C.X. VELLOSO, 1973. Adsorção de fosfato em latossolos sob vegetação de cerrado. **Pesq. agro pec. bras. Sér. Agron.** 8: 81 - 88.
- LINDSAY, W.L., A.W. FRAZIER, H.F. STEPHENSON, 1962. Identification of reaction products from phosphate fertilizers in soils. **Proc. Soil Sci. Soc. Am.** 26: 446 - 452.
- LOURENÇO, S., 1973. **Adsorção e dessorção do fósforo em solos do Estado do Paraná.** Piracicaba, 69 p. (Tese de Doutorado), ESALQ-USP.
- MAGALHÃES, J.C.A.J. de, 1974. **Efeito de níveis e modos de aplicação de fósforo, na produção da matéria seca e conteúdo deste nutriente no milho (*Zea mays* L.), cultivado em solos de "cerrado" de Brasília - D.F., Piracicaba, 112 p. Tese (M.S.), ESALQ-USP.**
- MELLO, F.A.F. de, 1968. Capacidade de fixação de fosfato de alguns solos do Município de Piracicaba, **Rev. Agric.** 43: 23 - 28.

- MELLO, F.A.F. de, M.O.C. BRASIL SOBRINHO, S. ARZOLLA, A. COBRA NETO & R.I. SILVEIRA, 1972. **Fertilidade do solo**, Piracicaba, ESALQ, USP, Dep. de Solos e Geologia, 2 v.
- RACZ, G.J. & R.J. SOPER, 1967. Reaction products of orthophosphates in soils containing varying amounts of calcium and magnesium. **Can. J. Soil Sci.** 48: 265 - 266.
- REZENDE, J. de O., 1974. **Capacidade de fixação de fósforo por solos dos Estados da Bahia e Sergipe. Influência do pH e tempo de reação**, Piracicaba, 81p. Tese M.S., ESALQ, USP.
- STOUT, P.R., 1939. Alterations in the crystal structures of clay minerals as a result of phosphate fixation. **Proc. Soil Sci. Soc. Am.** 4: 177 - 182.
- SUDENE, 1973. Departamento de Recursos Naturais. Divisão de Agrologia. Mapa exploratório; reconhecimento de solos: Estado de Sergipe. Rio de Janeiro, Fund. IBGE, Esc. 1:400.000, Color.
- WAUGH, D.L. & J.W. FITTS, 1966. Estudos para interpretação de análises de solo: de laboratório e em vasos. **Bolm. téc. int. Soil Test.**, Raleigh, nº 3, 33 p.