

BRAGANTIA

Boletim Científico do Instituto Agronômico do Estado de S. Paulo

Vol. 28

Campinas, janeiro de 1969

N.º 2

FORMAS DE FÓSFORO EM SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1)

JOSÉ A. JORGE e J. VALADARES, *engenheiros-agrônomo*s, *Seção de Agrogeologia, Instituto Agronômico*

SINOPSE

São determinadas as formas em que se encontra o fósforo nativo nos solos mais importantes do Estado de São Paulo.

Dez amostras superficiais (A₁) de solos foram fracionadas para a determinação das formas minerais e orgânica de fósforo.

1 — INTRODUÇÃO

Tem sido difícil explicar o comportamento do fósforo, como nutriente das plantas, especialmente em solos ricos em óxidos de ferro e alumínio, característicos de regiões tropicais.

Os estudos efetuados no Brasil têm encarado, particularmente, os problemas de deficiências de fósforo, observadas em culturas ou em respostas do solo à adubação fosfatada (1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 13, 14, 15, 18, 19). Têm sido feitos, também, estudos em que se utilizam várias soluções extratoras para reconhecer solos ricos ou pobres em P e prever a reação à adubação fosfatada (7, 8).

O presente trabalho visa determinar as formas em que se encontra o fósforo nativo em diversos solos do Estado de São Paulo, tendo em atenção a sua importância agrícola atual ou potencial e a sua expressão territorial.

(1) Recebido para publicação em 22 de março de 1968.

2 — MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi feito em amostras superficiais (sub-horizonte A₁) de dez unidades de solos importantes, do Estado de São Paulo, pela extensão das culturas e características diversas.

Para a determinação das diversas formas de fósforo existentes nas amostras estudadas, tomou-se 1 g de terra fina passada em peneira de 0,5 mm e fêz-se:

a) O fracionamento do fósforo mineral, de acôrdo com o método de Chang e Jackson (9). Inicialmente, colocou-se o solo num tubo de centrífuga de 100 ml, juntamente com 50 ml de NH₄Cl 1N; a suspensão foi agitada durante 30 minutos num agitador rotativo (cêrca de 60 rpm) e, posteriormente, centrifugada. Êste tratamento extrai o *P* solúvel em água, o *P* fâcilmente cedido pelo solo e o cálcio trocável.

Pelo método utilizado separaram-se as seguintes frações, lavando-se a amostra, entre cada extração, com duas porções de 25 ml de uma solução saturada de NaCl:

P — *Al*: agitando o resíduo de terra, da extração do *P* solúvel, com 50 ml de NH₄F 0,5N a pH 7, durante 1 hora.

P — *Fe*: agitando o resíduo de terra, da extração anterior, com 50 ml de NaOH 0,1N, durante 17 horas.

P — *Ca*: agitando o resíduo de terra, com 50 ml de H₂SO₄ 0,5N, durante 1 hora.

P — *Fe ocluso*: suspendendo o resíduo de terra em 40 ml de citrato de sódio 0,3M e 5 ml de uma solução de NaHCO₃ 1M; aquece-se a 80°C em banho-maria e junta-se 1 g de ditonito de sódio, agitando com um bastão. Esta operação tem por objetivo a redução e a complexação do ferro, com liberação do *P*. A êste extrato, junta-se o líquido das duas lavagens com a solução saturada de NaCl, e perfaz-se o volume de 100 ml com água destilada.

P. — *Al ocluso*: agitando o resíduo de terra com 50 ml de NH₄F 0,5N a pH 7, durante 1 hora.

A determinação do fósforo foi feita por colorimetria, usando subcarbonato de bismuto e ácido ascórbico, como reagentes (17), e o colorímetro Klet-Summerson, com filtro 66.(660 mμ).

QUADRO 1. — Características físico-químicas dos solos estudados; sub-horizonte A₁

Perfil	pH-H ₂ O	C-teor	N-total	Teor trocável em e. mg/100 g de solo seco						Areia	Limo	Argila
				*PO ₄ ⁻³	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H ⁺			
844	5,50	0,94	0,08	0,02	0,18	1,10	0,37	tr	4,80	82	6	12
902	5,80	0,64	0,06	0,15**	0,06	1,35	0,93	0,20	1,22	92	2	6
929	5,85	1,74	0,19	0,03	0,23	2,60	1,15	tr	3,40	68	13	19
949	6,40	2,27	0,19	0,12	0,84	6,85	1,65	tr	2,00	82	6	12
803	4,95	4,96	0,28	0,10	0,49	1,20	1,09	5,30	18,60	40	6	54
853	5,20	2,24	0,14	0,12	0,05	0,45	0,05	2,13	3,80	29	20	51
928	6,80	2,19	0,30	0,26	0,42	17,80	2,95	n.d.	n.d.	30	34	36
947	5,50	3,20	0,24	0,01	0,50	3,05	1,95	tr	6,20	77	2	21
953	5,20	1,24	0,09	0,03	0,11	0,90	0,35	0,75	2,60	71	5	24
945	6,00	2,02	0,16	0,54	0,21	9,25	2,75	tr	6,10	47	30	23

* PO₄ solúvel em 0,5 N H₂SO₄.

** P₂O₅ Bray.

b) O fósforo orgânico foi determinado por extração, em nova amostra de 1 g de solo, baseada nos métodos de Jackson, Bray e Kurtz (1). A determinação colorimétrica no extrato foi idêntica à descrita em (a).

c) O fósforo total foi determinado por dois processos:

1) Digestão, em balão de Kjeldahl, com 10 ml de H_2SO_4 concentrado, e determinação colorimétrica com subcarbonato de bismuto e ácido ascórbico (5);

2) Com pré-tratamento de amostra a $380-400^\circ C$, durante 7 horas, para oxidar a matéria orgânica, conforme recomendação de Mitchell, citado por Chang e Jackson (9).

3 — RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como se pode observar no quadro 2, os Latossolos Roxos (perfis 853 e 928) apresentaram teores sensivelmente mais altos para as frações *P-Ca*, *P-Fe*, *P-Fe ocluso* e *P-orgânico* que os outros Latossolos estudados (947, 953 e 803). A Terra Roxa Estruturada salientou-se por seu teor elevado em *P-Ca*, acompanhando, no mais, os Latossolos Roxos.

De acôrdo com o trabalho de Chang e Jackson (9), em Latossolo, o *P-Fe* foi encontrado representando mais de 80% do total por êle determinado. Valadares (16), estudando solos de Angola, encontrou cêrca de 50% do *P-total* ligado ao ferro.

Os solos Podzólicos Vermelho Amarelo apresentaram pequena variação entre si. Neste grupo de amostras verificou-se uma predominância do *P-Fe ocluso*, com valores cêrca de 4 vêzes superiores aos do *P-Fe*. A amostra do Solo Podzolizado com Cascalhos apresentou valores inferiores aos obtidos nos Podzólicos.

Numa comparação global entre o Latossolo Roxo e a Terra Roxa Estruturada com as demais unidades estudadas, verifica-se que as primeiras contêm teores mais elevados de tôdas as frações, com especial realce para o *P-Ca*, forma importante, por ser considerada mais fâcilmente absorvida pelas plantas. No caso da Terra Roxa Estruturada, o *P-Ca* atinge o elevado valor de 1,90 e.mg de PO_4^{-3} por 100 g de solo, ou seja, cêrca de 200 ppm de *P*.

QUADRO 2. — Formas de fósforo em solos do Estado de São Paulo, em e.mg de PO_4^{--3} por 100 g de terra*

Perfil N.º	Amostra	F- Ca	P- Fe ativo	P- Fe ocluso	P- Al ativo	P- Al ocluso	P. orgânico	P- soma	P- total H_2SO_4	P- total (400°C.)
844	Podzólico Verm. Amar.	0,12	0,27	1,25	0,06	0,12	0,03 18,6 % **	1,85	1,10	1,60
902	Podzólico Verm. Amar. Var. Marília	0,14	0,47	1,25	0,05	0,04	0,40 22,8 %	2,35	1,75	1,75
929	Podzolizado c. cascalho	0,10	0,27	0,93	0,02	0,04	0,60 27,0 %	1,96	1,56	1,85
949	Podzólico Verm. Amar. Var. Lins	0,16	0,34	1,20	0,03	0,03	0,72 31,3 %	2,48	2,30	2,10
803	Latossolo Amarelo	0,08	0,50	2,00	0,06	0,04	0,40 12,5 %	3,08	3,20	3,80
853	Latossolo Roxo (T. R. de campo)	0,34	1,00	3,55	0,19	0,04	0,47 5,3 %	5,59	8,80	8,75
928	Latossolo Roxo	0,55	0,75	5,00	0,05	0,21	1,37 11,8 %	7,93	10,75	11,30
947	Latossolo Verm. Escuro Fase Arenosa	0,09	0,19	1,40	tr.	0,03	0,22 17,0 %	1,93	1,30	1,25
953	Latossolo Verm. Amar.	0,12	0,11	1,00	0,03	0,04	0,17 13,0 %	1,47	1,30	1,25
945	Terra Roxa Estruturada	1,90	0,90	3,40	0,07	0,03	0,80 9,8 %	7,10	8,10	8,10

* Multiplique-se por 103,4 para obter ppm de P.

** % do P. orgânico, em relação ao P- total.

O *P-orgânico* apresentou valores entre 0,03 e 1,37 e.mg/100 g de terra. Tendo-se tomado o *P-orgânico* como percentagem do total, observou-se uma variação de 9,8 a 31,3%.

Vieira (20), trabalhando com Latossolos da Amazônia, obteve percentagens de *P-orgânico* mais elevadas, variando entre 13,5 e 61%.

4 — CONCLUSÕES

Nas amostras estudadas, a maior parte do fósforo existente acha-se ligada ao ferro. As formas de fósforo encontradas foram, em ordem decrescente: *P-Fe ocluso*, *P-Fe*, *P-orgânico*, *P-Ca* e *P* ligado ao alumínio.

Embora alguns dos solos estudados apresentem alto teor de *P* total, a disponibilidade do elemento é pequena para as plantas, pois a forma mineral mais facilmente aproveitável, isto é, o *P-Ca*, se acha em níveis baixos, salvo na Terra Roxa Estruturada.

FORMS AND CONTENT OF PHOSPHORUS IN DIFFERENT SOILS OF THE STATE OF SÃO PAULO

SUMMARY

Fractionation of phosphorus was made on ten samples (A_1 horizon) of different types of soils, of the State of São Paulo, according to the method of Chang and Jackson. Red Latosols (Latosolos Roxos) showed for all forms higher levels of phosphorus than the other Latosols studied except for the Al-phosphate. Terra Roxa Estruturada had a remarkable content of Ca-phosphate, being similar in other characteristics to the Latosols "Roxos".

The different Podzolic Soils were uniform in phosphorus content. A predominance of occluded Fe-phosphate, about four times greater than the active Fe-phosphate, was observed.

A comparison between the Latossolo Roxo — Terra Roxa Estruturada and the other samples showed that the former were, in all forms of phosphorus, richer than the latter, especially Ca-phosphate. In the Terra Roxa Estruturada, the Ca-phosphate level reaches 1.90 meq of PO_4^{-3} per 100 g of soil (about 200 ppm of P).

Organic P varied between 0.03 and 1.37 meq of PO_4^{-3} per 100 g of soil. Considering the organic P as a percentage of the total P, a variation was noted between 9.8 and 31.3%.

The soils studied showed the following P. fractions, in decreasing order of importance: occluded Fe-phosphate, Fe-phosphate, organic phosphate, Ca-phosphate and Al-phosphate.

LITERATURA CITADA

1. AGUIAR, H. C.; CORRÊA, D. M.; NEVES, O. S. & FREIRE, E. S. Adubação do algodoeiro. VIII — Ensaio com diversos adubos fosfatados (2.^a série). *Bragantia* 19:33-56, 1960.
2. AGUIRRE JUNIOR, J. M.; ARRUDA, H. C.; SEGALLA, A. L. & ALVAREZ, R. Experiência de adubação fosfatada em cana-de-açúcar com fracionamento na aplicação. In: Anais do II Congresso Panamericano de Agronomia, Piracicaba, 1954. p.167-168.
3. ALVAREZ, R.; SEGALLA, A. L. & ARRUDA, H. V. Adubação da cana-de-açúcar. II — Adubação fosfatada quantitativa. *Bragantia* 16:297-302, 1957.
4. —————; —————; CATANI, R. A. & ARRUDA, H. V. Adubação da cana-de-açúcar. I — Adubação fosfatada em solo massapé-salmourão. *Bragantia* 16:65-72, 1957.
5. —————; —————; ————— & —————. Adubação da cana-de-açúcar. IV — Fertilizantes fosfatados. *Bragantia* 17:355-362, 1958.
6. BLANCO, H. G.; IGUE, K.; GARGANTINI, H. & WUTKE, A. C. P. Competição de fertilizantes fosfatados para o trigo. *Bragantia* 21:867-874, 1962.
7. CATANI, R. A. Contribuição ao estudo dos fosfatos, sua dosagem, extração e distribuição nos solos do Estado de São Paulo. Piracicaba, 1948. 75fls. (Mimeografado)
8. ————— & GARGANTINI, H. Extração do fósforo do solo pelo método de Neubauer e por métodos químicos. *Bragantia* 13:55-62, 1954.
9. CHANG, S. C. & JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 84:133-144, 1957.
10. GOMES, A. G.; CATANI, R. A. & FREIRE, E. S. Adubação do milho. XIX — Ensaio com diversos fosfatos (5.^a série). *Bragantia* 20:35-41, 1961.
11. I.D.E.R.T. Fractionnement des différentes formes du phosphate du sol. Bondy, França, Laboratoire de Fertilité des Sols, 1965. 17fls.
12. JACKSON, M. L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1958. 498p.
13. JORGE, J. A.; GARGANTINI, H.; IGUE, T. & NERY, J. P. Efeito da adubação NPK na produção e no teor de proteína do trigo no sul do Estado de São Paulo. *Bragantia* 24:475-480, 1965.

14. NEVES, O. S. & FREIRE, E. S. Adubação do algodoeiro. VII — Ensaios com diversos adubos fosfatados (1.ª série). *Bragantia* 18:295-318, 1959.
15. RAMOS, I.; NEVES, O. S. & FREIRE, E. S. Adubação do algodoeiro. VI — Ensaios com doses crescentes de fósforo. *Bragantia* 18:199-223, 1959.
16. VALADARES, J. S. Contribuição para o estudo do fósforo em solos da Estação Regional de Amboim. Lisboa, Missão de Estudos Agronômicos do Ultramar, 1962. 39p. (Comunicação 27)
17. VETTORI, L. Métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1966. 21fls. (Resources survey Pro-Ag. 512 15.120.249) (Mimeografado)
18. VIÉGAS, G. P.; FREIRE, E. S. & SCHMIDT, N. C. Adubação do milho. XXII — Ensaios com diversos fosfatos (8.ª série). *Bragantia* 20:537-546, 1961.
19. —————; ————— & VENTURINI, W. R. Adubação do milho. XXI — Ensaios com diversos fosfatos (7.ª série). *Bragantia* 20:461-470, 1961.
20. VIEIRA, L. S. Ocorrência e forma de fósforo em solos da Amazônia. Turrialba, Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1966. 110fls.