

RELAÇÃO ENTRE ADSORÇÃO DE FÓSFORO E COMPONENTES MINERALÓGICOS DA FRAÇÃO ARGILA DE LATOSSOLOS DO PLANALTO CENTRAL⁽¹⁾

A. F. C. BAHIA FILHO⁽²⁾, J. M. BRAGA⁽³⁾, M. RESENDE⁽³⁾ & A. C. RIBEIRO⁽⁴⁾

RESUMO

Com o objetivo de verificar o comportamento adsorptivo de fósforo dos componentes mineralógicos da fração argila, foram coletadas amostras superficiais de oito solos, com textura e mineralogia variáveis. A goethita foi o principal componente dessa fração responsável pelas variações observadas na capacidade tampão máxima e na adsorção máxima de fósforo.

SUMMARY: *RELATION BETWEEN PHOSPHORUS ADSORPTION AND CLAY MINERALOGICAL COMPONENTS OF LATOSOLS OF THE CENTRAL PLATEAU OF BRAZIL*

Phosphorus adsorption was studied on eight surface sample of soils varying on texture and clay mineralogy. Goethite was the main clay mineral fraction responsible for the differences observed on maximum buffering capacity and phosphorus adsorption.

INTRODUÇÃO

São poucos, na literatura, os trabalhos em que a adsorção de fósforo é relacionada com a mineralogia do solo. Uma tentativa de relacionamento nessa área foi efetuada por Juo & Fox (1977), incluindo uma classificação de capacidade de adsorção, de acordo com a mineralogia usualmente encontrada em solos. Essa classificação, genericamente, indica que solos mais intemperizados requerem maior quantidade de adubação fosfatada para um mesmo nível de fósforo em solução. A capacidade de adsorção, segundo os autores citados, relaciona-se principalmente com a mineralogia do solo, nos aspectos de natureza e efetividade da superfície de adsorção. Também de forma genérica, Fox & Searle (1978) indicaram que a adsorção de fósforo em solos tropicais poderia ser classificada, segundo a sua mineralogia, na seguinte ordem: quartzo, alumínio na

matéria orgânica < argilas 2:1 < argilas 1:1 < óxidos cristalinos de ferro e alumínio < óxidos amorfos de ferro e alumínio.

Aos óxidos amorfos tem sido atribuído o papel de principal componente na adsorção de fosfato em solos intemperizados (Syers et alii, 1971, Leal & Veloso, 1973, e Santana, 1973). Contudo, a designação amorfo, pelo menos para óxido de ferro, parece ser apenas uma fase operacionalmente definida (Resende, 1976). Nalovic et alii (1975) sugeriram que não há óxidos de ferro amorfos verdadeiros, mas materiais cristalizados ultrafinos, não detectáveis pelo raio-X. Assim, a falta de morfologia definida e de picos de difração de raio-X levou muitos pesquisadores a acreditar que a maioria dos óxidos pedogênicos fosse amorfa (Schwertmann & Taylor, 1981). O uso de técnicas avançadas, como espectroscopia Mössbauer (Nalovic et alii, 1975, Bigham, 1977, e Schwertmann & Taylor, 1981) e difração de

(1) Recebido para publicação em fevereiro e aprovado em julho de 1983.

(2) Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo — EMBRAPA/CNPMS. Caixa Postal 151, CEP 35700 - Sete Lagoas (MG). Bolsista do CNPq.

(3) Professor Titular do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. CEP 36570 - Viçosa (MG).

(4) Professor Adjunto do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. CEP 36570 - Viçosa (MG).

raio-X diferencial (Schwertmann & Taylor, 1981), demonstra, claramente, a cristalinidade dos óxidos de ferro tidos como amorfos.

Relacionando adsorção de fosfato e componentes mineralógicos do solo, Resende (1976) verificou que, aparentemente, não há diferença entre hematita e goethita na adsorção de fósforo. Ressaltou, no entanto, que a substituição isomórfica de ferro por alumínio na goethita pode influenciar a dessorção do fosfato adsorvido. O material de argila goethítico aparenta ser, segundo Bigham (1977), mais reativo, para retenção de fósforo, que o material hematítico. Os dados obtidos por esse autor não fornecem, contudo, indicações de que haja relação funcional entre composição mineralógica e adsorção de fosfato.

A variação no fator capacidade entre solos está associada, normalmente, a diferenças na adsorção de fosfato. Essas diferenças incluem a natureza e a extensão da superfície disponível para adsorção, bem como o nível de energia com que o íon fosfato está retido. Assim, a associação entre capacidade tampão e características de solo reflete, com maior ou menor ênfase, o efeito isolado ou da interação dos fatores anteriormente mencionados. Esses fatores influenciam não só a adsorção como também a dessorção do fosfato, fazendo com que a histerese entre os dois fenômenos seja mais ou menos pronunciada.

A capacidade tampão relaciona-se com os teores de argila (Webber & Mattingly, 1970, Bahia Filho & Braga, 1975, Novais & Kamprath, 1978, e Miranda & Volkweiss, 1981), matéria orgânica (Bahia Filho & Braga, 1975), alumínio (Barrow et alii, 1965, e Bahia Filho & Braga, 1975), fósforo inorgânico (Webber & Mattingly, 1970) e superfície específica (Webber & Mattingly, 1970).

Dentre as características mencionadas, o teor de argila é considerado o de maior importância para a determinação do fator capacidade (Baldovinos & Thomas, 1967, Webber & Mattingly, 1970, Bahia Filho & Braga, 1975, Novais & Kamprath, 1978, e Miranda & Volkweiss, 1981). Todavia, pouca ênfase tem sido dada ao conhecimento da natureza da fração argila e do efeito da composição mineralógica na capacidade tampão. Em-

bora de caráter genérico, Bahia Filho & Braga (1975) sugeriram que a capacidade tampão em latossolos varia de acordo com a natureza da fração argila, na seguinte ordem: caulinita < gibbsita < material amorfo.

Neste trabalho, procurou-se identificar os componentes da fração argila de latossolos responsáveis pela adsorção de fosfato.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de material de solo utilizadas foram obtidas por Bahia Filho (1982) e compreendem predominantemente latossolos (Quadro 1). A sua classificação, caracterização física e mineralógica encontram-se nesse mesmo trabalho e em Resende et alii (*).

Os índices de disponibilidade de fósforo empregados compreenderam isotermas de adsorção, o fator capacidade tampão e o fósforo removido pelo extrator Mehlich 1 (Vettori, 1969).

Para a obtenção das isotermas de adsorção, uma amostra de 2,5g de terra fina seca ao ar (TFSA) foi agitada, à temperatura ambiente, com 25ml de CaCl_2 0,01M, com concentrações crescentes de fósforo, na forma de KH_2PO_4 , durante 24 horas, em agitador vertical rotativo tipo Wagner.

Adicionaram-se duas gotas de tolueno a cada tubo, antes da agitação, para prevenir a atividade microbiana. Feita a agitação, as suspensões foram centrifugadas e filtradas, determinando-se o fósforo pelo método da vitamina C, modificado por Braga & Defelipo (1974).

Considerou-se fósforo adsorvido a diferença entre a concentração inicial adicionada e a de equilíbrio, após o período de agitação. Os dados de concentração de fósforo em equilíbrio, em micrograma P/mililitro, e fósforo adsorvido, micrograma P/grama, foram ajustados à isoterma de Langmuir, na sua forma hiperbólica, com o uso do programa Regrenil, de Bard (1974), utilizando o método de Gauss Newton. A equação da isoterma de Langmuir utilizada foi a de uma única superfície de adsorção.

Os índices utilizados de capacidade tampão derivados dos dados obtidos das isotermas de adsorção foram os seguintes:

a. Capacidade tampão máxima (Holford & Mattingly, 1976). Inclinação máxima da isoterma de Lang-

(*) Resende, M.; Bahia Filho, A. F. C.; Braga, J. M. Composição mineralógica da fração argila de latossolos estimada pelo teor de óxidos do ataque sulfúrico (em fase de publicação).

Quadro 1. Classificação e identificação das amostras de material de solo utilizadas

Classe de solo	Símbolo	Identificação
Areia Quartzosa distrófica fase cerrado	AQd	TM-5
Latossolo Vermelho-Escuro distrófico textura média fase cerradão	LEdm	TM-6
Latossolo Vermelho-Escuro distrófico textura média fase cerradão	LEdm	TM-18
Latossolo Vermelho-Escuro epieutrófico textura argilosa fase floresta	LEdr	TM-42
Latossolo Vermelho-Escuro distrófico textura argilosa fase floresta	LEdr	TM-14
Latossolo Vermelho-Escuro distrófico textura muito argilosa fase floresta	LEdr	AP-C13
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura muito argilosa fase campo	LVar	TM-56
Latossolo Vermelho-Amarelo textura muito argilosa fase cerrado	LVar	TM-67

muir para uma única superfície de adsorção, dada pela expressão:

$$\left(\frac{dx}{dc}\right)_{c \rightarrow 0} = k x_m$$

b. Capacidade tampão de equilíbrio (Beckett & White, 1964, e Holford & Mattingly, 1976). Valor da tangente à isoterma de Langmuir para única superfície de adsorção na concentração natural de equilíbrio (quando o fósforo adicionado é igual a zero). É obtido pela primeira derivada da equação da isoterma de Langmuir, na sua forma original:

$$\frac{dx}{dc} = \frac{kx_m}{(1 + kc)^2}$$

Amostras do material de solo foram ainda incubadas a temperatura ambiente com quantidades crescentes de P na forma de $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (0, 100, 150, 200 e $250 \mu\text{g}$ P/g de TFSA). A incubação foi efetuada durante doze dias, permanecendo o material de solo com a umidade correspondente a 100% da água retida a $\frac{1}{3}$ de bar. Após o período de incubação, as amostras foram secas em estufa a 40°C , determinando-se o fósforo extraído pelo extrator Mehlich 1 pelo método da vitamina C modificado por Braga & Defelipo (1974). Com os dados obtidos, foram ajustadas equações de regressão entre fósforo removido pelo extrator Mehlich 1 e fósforo aplicado. O coeficiente angular dessas equações foi empregado nas análises de correlação efetuadas como uma medida indireta da capacidade tampão de fósforo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da disponibilidade de fósforo evidenciou baixos teores de fósforo disponível, pelo extrator Mehlich 1, e considerável variação nos parâmetros de energia e capacidade máxima de adsorção (Quadro 2).

A comparação dos resultados de capacidade tampão máxima e de equilíbrio mostra que há bastante similaridade entre eles. A razão dessa semelhança reside no fato de que a capacidade tampão de equilíbrio é medida na concentração de equilíbrio e fósforo. Como essa concentração se aproxima de zero, tem-se, praticamente, os mesmos resultados da capacidade tampão máxima. As maiores discrepâncias são verificadas justa-

mente onde ocorre maior teor de fósforo em solução, associado com elevada energia e capacidade máxima de adsorção (AP-C13). Assim, os índices de capacidade tampão calculados segundo os conceitos de Beckett & White (1964) e Holford & Mattingly (1976) somente deverão apresentar resultados diferentes se os teores de fósforo em solução forem significativamente maiores que zero e em solos com altos valores de energia e capacidade máxima de adsorção. No caso presente, as estimativas de capacidade tampão estão estreitamente correlacionadas entre si ($r = 0,999^{**}$).

Uma vez que a capacidade tampão está associada à adsorção de fosfato, procurou-se relacioná-la com algumas características do solo ligadas ao fenômeno de retenção (Quadro 3).

As correlações encontradas refletem, direta ou indiretamente, o relacionamento anteriormente referido, entre o fator capacidade e a adsorção. Dentre os parâmetros da capacidade tampão, a adsorção máxima foi o que se associou em maior grau com as características selecionadas. Assim, todos os parâmetros avaliados estão relacionados, principalmente, com a extensão da superfície de adsorção. As correlações entre capacidade tampão, adsorção máxima e energia de adsorção eram esperadas, tendo em vista a participação desses parâmetros na obtenção do fator capacidade. O relacionamento com o teor de carbono indica a participação positiva da matéria orgânica na adsorção de fosfato. Essa participação, no entanto, diante do caráter aniônico da matéria orgânica, pode processar-se possivelmente através de "pontes" de cátions metálicos (Fe ou Al) entre a matéria orgânica e o ânion fosfato (Wild, 1950, Braga, 1973, Fox, 1979, e Sample et alii, 1980). Por outro lado, Schwertmann (1966) verificou que compostos orgânicos têm efeito inibidor sobre o desenvolvimento de cristais de hidróxido férrico amorfo, através da adsorção de ácidos húmicos e fúlvicos à superfície positivamente carregada. Conseqüentemente, é de esperar maior superfície de adsorção nos cristais de menor tamanho. Tal

Quadro 2. Parâmetros de disponibilidade de fósforo nas amostras de solo utilizadas

Classe de solo	Identificação	Fósforo disponível	Energia de adsorção (k)	Capacidade máxima de adsorção (x_m)	Capacidade tampão	
		Mehlich 1			Máxima	Equilíbrio
		$\mu\text{g/g}$	ml/g	$\mu\text{g/g}$	ml/g	
AQd	TM-5	3,3	1,69	205	346	336
LEdm	TM-6	8,8	0,43	180	76	76
LEdm	TM-18	2,2	0,76	270	205	200
LEdr	TM-42	8,9	0,34	238	81	80
LEdr	TM-14	0,9	0,49	953	467	460
LVar	TM-56	0,7	1,74	1321	2299	2251
LEdr	AP-C13	5,1	2,40	1502	3605	3359
LVar	TM-67	0,8	2,02	1097	2216	2163

mecanismo é também aceito por Sanches & Uehara (1980), segundo os quais maior quantidade de matéria orgânica pode levar a um aumento nos sesquióxidos finamente divididos. No entanto, não há informações suficientes para estabelecer o efeito inibidor da matéria orgânica na cristalização de compostos de alumínio. Desde que o mecanismo proposto esteja correto, a relação entre matéria orgânica e adsorção é de natureza indireta. No caso da amostra AP-C13, é provável que a associação entre maior teor de fósforo em solução e elevada energia e capacidade de adsorção esteja relacionada com o seu teor de matéria orgânica (5,30%). Nesse caso, o fósforo em solução medido seria predominantemente da matéria orgânica, que, de maneira indireta, contribuiria também para reduzir a finura dos cristais de minerais de ferro, conferindo as características de adsorção verificadas nessa amostra. Um mecanismo de natureza direta é responsável, contudo, pelas correlações obtidas entre capacidade tampão, argila, equivalente de umidade e água retida a $-1/3$ de bar. As características determinadas, ligadas à água no solo, retratam o fenômeno de adsorção de natureza eletrostática. Embora a adsorção de fosfato envolva também o estabelecimento de ligações covalentes (Hingston et alii, 1967, 1974; Parfitt et alii, 1975, e Parfitt, 1978), as correlações obtidas sugerem que os parâmetros de água empregados fornecem uma estimativa da superfície disponível para adsorção, independentemente do tipo da força de atração. O uso de medidas indiretas de capacidade tampão, como fósforo em solução e declividade do aumento de fósforo, pelo extrator Mehlich 1, é baseado, pelos resultados obtidos, também na superfície disponível para adsorção. Dessa forma, nenhuma alteração na energia de adsorção será refletida pelas medidas indiretas de capacidade tampão.

Embora a fração argila apresente estreita correlação com a adsorção e com a capacidade

tampão, é desejável a identificação do componente mineralógico responsável pelas variações observadas nos dois parâmetros de disponibilidade de fósforo. Dentre os componentes considerados na mineralogia dos materiais de solo estudados (Resende et alii (*)), a goethita foi responsável por 97% e 86% das variações observadas na capacidade tampão máxima e na adsorção máxima respectivamente (Quadro 4 e 5).

Resultado semelhante foi obtido por Jones (1981) em materiais de solo de Porto Rico. Esse autor verificou, no entanto, que, além da abundância do mineral, é importante, na adsorção de fosfato, o tamanho médio do cristalito. Em outro trabalho, Jones et alii (1982) observaram que a adsorção de fósforo foi mais dependente de goethita e gibbsita que de outros componentes das amostras de solo. Praticamente, o efeito da sílica na adsorção pode ser atribuído à sua ação diluidora sobre a goethita e sobre a gibbsita. Os mencionados autores não utilizaram, contudo, nenhuma técnica para separar o efeito dos dois componentes na adsorção. Utilizando a equação de regressão ajustada entre capacidade máxima de adsorção (em micrograma P/grama solo) e porcentagem de goethita no material do solo (Quadro 5), foi obtido o valor de adsorção de $181 \mu\text{mol}$ de $\text{PO}_4^{-3}/\text{g}$ de goethita. Esse valor é razoável, quando comparado com o obtido por Parfitt et alii (1975), de $210 \mu\text{mol}$ de $\text{PO}_4^{-3}/\text{g}$ a pH 3,5, em goethita pura. Deve-se considerar que fatores como morfologia e tamanho dos cristais (Nalovic et alii, 1975 e Schwertmann & Taylor, 1977), bem como as condições experimentais (McLaughlin et alii, 1981), podem influenciar os valores obtidos.

Quadro 3. Coeficientes de correlação linear simples (r) entre a capacidade tampão máxima, os parâmetros da isoterma de Langmuir e algumas características do solo

Característica	Capacidade tampão máxima	Adsorção máxima	Energia de adsorção
Adsorção máxima (x_m)	0,911 **	—	—
Energia de adsorção (k)	0,866 **	0,687 ns	—
Conteúdo de argila	0,900 **	0,937 **	0,687 ns
Teor de carbono	0,843 **	0,771 *	0,568 ns
Equivalente de umidade	0,884 **	0,952 **	0,624 ns
Água retida a $-1/3$ bar	0,896 **	0,955 **	0,632 ns
P em solução ($40 \mu\text{g}/\text{ml}$) ⁽¹⁾	-0,767 *	-0,927 **	-0,620 ns
P recuperado/P aplicado ⁽²⁾	-0,826 *	-0,970 **	-0,620 ns

(1) Quantidade de fósforo em solução após agitação do material com $40 \mu\text{g}/\text{ml}$ de P por 24 horas.

(2) Coeficiente angular da equação de regressão ajustada entre fósforo disponível pelo extrator Mehlich 1 e fósforo aplicado.

ns: não significativo; * e **: significativos aos níveis de 5% e 1% respectivamente.

Quadro 4. Análise de variância da equação de regressão ajustada entre capacidade tampão máxima e componentes mineralógicos do material de solo ⁽¹⁾

Fonte de variação	GL ⁽²⁾	QM ⁽²⁾	R ²	Equação de regressão ⁽²⁾
Devida a Go	1	1,23.10 ⁷ **	0,966	Y = 56,25 + 144,94 Go
Devida a Go e Gb	2	6,28.10 ⁶ **	0,983	—
Devida a Gb, dado Go	1	2,20.10 ⁵ ns	0,017	—
Devida a Go, Gb, Ka	3	4,22.10 ⁶ **	0,991	—
Devida a Ka, dado Go e Gb	1	9,90.10 ⁴ ns	0,008	—
Devida a Go, Gb, Ka e Hm	4	3,17.10 ⁶ **	0,991	—
Devida a Hm dado Go, Gb e Ka	1	2,00.10 ³ ns	0,000	—

(1) Go: goethita; Gb: gibbsita; Ka: caulinita; Hm: hematita; (2) Y dado em ml/g e Go em % de goethita no material de solo; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; ns: não significativo; *: significativo ao nível de 1%.

Quadro 5. Análise de variância da equação de regressão ajustada entre capacidade máxima de adsorção e componentes mineralógicos do material de solo ⁽¹⁾

Fonte de variação	GL ⁽²⁾	QM ⁽²⁾	R ²	Equação de regressão ⁽²⁾
Devida a Go	1	1,85.10 ⁶ **	0,857	Y = 292,44 + 56,14 Go
Devida a Go e Hm	2	1,01.10 ⁶ **	0,933	—
Devida a Hm, dado Go	1	1,63.10 ⁵ ns	0,076	—
Devida a Go, Hm e Gb	3	6,82.10 ⁵ **	0,946	—
Devida a Gb, dado Go e Hm	1	2,90.10 ⁴ ns	0,013	—
Devida a Go, Hm, Gb e Ka	4	5,13.10 ⁵ *	0,950	—
Devida a Ka, dado Go, Hm e Gb	1	7,40.10 ³ ns	0,004	—

(1) Go: goethita; Hm: hematita; Gb: gibbsita; Ka: caulinita; (2) Y dado em g P/g e Go em % no material de solo; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; ns: não significativo, * e ** significativos aos níveis de 5% e 1% respectivamente.

CONCLUSÕES

As correlações encontradas entre argila, teor de carbono, adsorção máxima e capacidade tampão máxima refletem a extensão da superfície adsorptiva. Da mesma forma, as correlações entre capacidade tampão, argila, equivalente de umidade e água retida a $-1/3$ de bar retratam a superfície disponível para a adsorção. Nenhum desses parâmetros se associou significativamente com a energia de adsorção. A goethita foi o principal componente da fração argila responsável pelas variações observadas entre solos na capacidade tampão máxima e na adsorção máxima de fósforo.

LITERATURA CITADA

- BAHIA FILHO, A. F. C. Índices de disponibilidade de fósforo em latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas. Tese Doutorado. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 179 f. Mimeo.
- BAHIA FILHO, A. F. C. & BRAGA, J. M. Fósforo em latossolos do Estado de Minas Gerais. I. Intensidade e capacidade tampão de fósforo. *Experientiae*, 19: 17-32, 1975.
- BALDOVINOS, F. & THOMAS, G. H. The effect of soil clay content on phosphorus uptake. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 31:680-682, 1967.
- BARD, Y. Nonlinear parameter estimation. New York, Academic Press, 1974. 341 p.
- BARROW, N. J.; OZANNE, P. G.; SHAW, T. C. Nutrient potential and capacity. I. The concepts of nutrient potential and capacity and their application to soil potassium and phosphorus. *Aust. J. Agric. Res.*, 16:77-91, 1965.
- BECKETT, P. H. T. & WHITE, E. E. Studies on the phosphorus potentials of soils. Part. III. The pool of labile inorganic phosphate. *Pl. Soil*, 21:253-282, 1964.
- BIGHAM, J. M. Iron mineralogy of red-yellow hued ultisols and oxisols as determined by Mössbauer spectroscopy X-ray diffractometry and supplemental laboratory techniques. Tese de Mestrado. Raleigh, North Carolina State University, 1977. 1965 f. Mimeo.
- BRAGA, J. M. Fixação de fósforo. In: SEMINÁRIO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, Piracicaba, 1973. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1973. p.1-20.
- BRAGA, J. M. & DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. *R. Ceres*, 21:73-85, 1974.
- FOX, R. L. Comparative responses of field grown crops to phosphate concentrations in soil solutions. In:

- MUSSEL, H. & STAPLES, R., ed. *Stress physiology in crop plants*. New York, John Wiley & Sons, 1979. p. 82-106.
- FOX, R. L. & SEARLE, P. G. E. Phosphate adsorption by soils of the tropics. In: DROSDOFF, M., ed. *Diversity of soils in the tropics*. Madison, American Society of Agronomy, 1978. p. 97-119.
- HINGSTON, F. J.; ATKINSON, R. J.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. Specific adsorption of anions. *Nature*, 215:1459-1461, 1967.
- HINGSTON, F. J.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. II. Desorption of anions from hydrous oxides surfaces. *J. Soil Sci.*, 25:16-26, 1974.
- HOLFORD, I. C. R. & MATTINGLY, G. E. G. A model for the behaviour of labile phosphate in soil. *Pl. Soil*, 44:219-229, 1976.
- JONES, R. C. X-ray diffraction line profile analysis. vs. phosphorus sorption by 11 Puerto Rican soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:818-825, 1981.
- JONES, R. C.; HUDNALL, W. H.; SAKAY, W. S. Some highly weathered soils of Puerto Rico. 2. Mineralogy. *Geoderma*, 27:75-137, 1982.
- JUO, A. S. R. & FOX, R. L. Phosphate sorption characteristics of some Bench-Mark soils of West Africa. *Soil Sci.*, 124:370-376, 1977.
- LEAL, J. R. & VELOSO, A. C. S. Adsorção de fosfato em latossolos sob vegetação de cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, 8:81-88, 1973.
- McLAUGHLIN, J. R.; RYDEN, J. C.; SYERS, J. K. Sorption of inorganic phosphate by iron and aluminum-containing components. *J. Soil Sci.*, 32:365-377, 1981.
- MIRANDA, L. N. & VOLKWEISS, S. J. Relações entre a resposta da soja a adubação fosfatada e alguns parâmetros do solo. *R. bras. Ci. Solo*, 5:58-63, 1981.
- NALOVIC, L.; PEDRO, G.; JANOT, C. Demonstration by Mössbauer spectroscopy of the role played by transitional trace elements in the crystallogenesis of iron hydroxides. III. In: *INTERNATIONAL CLAY CONFERENCE*, Wilmette, 1975. *Proceedings*. Wilmette, Applied Publishing, 1975. p. 601-610.
- NOVAIS, R. F. & KAMPRATH, E. J. Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:934-935, 1978.
- PARFITT, R. L. Anion adsorption by soils and soil materials. *Adv. Agron.* 30:1-50, 1978.
- PARFITT, R. L.; ATKINSON, R. J. & SMART, R. S. C. The mechanism of phosphate fixation by iron oxides. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 39:837-841, 1975.
- RESENDE, M. Mineralogy, chemistry morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil. Tese de Doutorado. West Lafayette, Purdue University, 1976. 237 f. Mimeo.
- SAMPLE, E. C.; SOPER, R. J.; RACZ, G. J. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J., ed. *The role of phosphorus in agriculture*. Madison, American Society of Agronomy, 1980. p. 263-310.
- SANCHEZ, P. A. & UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J., ed. *The role of phosphorus in agriculture*. Madison, American Society of Agronomy, 1980. p. 471-514.
- SANTANA, D. P. Estudo de solos do Triângulo Mineiro e de Viçosa; I. Mineralogia. II. Adsorção de fosfatos. Tese de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1973. 56 f. Mimeo.
- SCHWERTMANN, U. Inhibitory effect of soil organic matter on the crystallization of amorphous ferrihydroxide. *Nature*, 212:645-646, 1966.
- SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R. M. Iron oxides. In: DIXON, J. B. & NEED, S. B., ed. *Mineral in soil environments*. Madison, Soil Science Society of America, 1977. p. 145-180.
- SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R. M. The significance of oxides for the surface properties of soils and the usefulness of synthetic oxides as models for their study. In: *THE NATURE AND PROPERTIES OF SOIL COLLOID SURFACES*. Wageningen, International Society of Soil Science, 1981. p. 59-88. (B., 60)
- SYERS, J. K.; EVANS, T. D.; WILLIAMS, J. D. H. & MURDOCK, J. T. Phosphate sorption parameters of representative soils from Rio Grande do Sul, Brazil. *Soil Sci.*, 112:267-275, 1971.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Escritório de Pesquisa e Experimentação, 1969. 24 p. (B. Téc., 7).
- WEBBER, M. D. & MATTINGLY, G. E. G. Inorganic soil phosphorus. I. Changes in monocalcium phosphate potentials on cropping. *J. Soil Sci.*, 21:111-120, 1970.
- WILD, A. The retention of phosphate by soil. *J. Soil Sci.*, 1:221-238, 1950.