

CAPACIDADE DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM LATOSOLO AMARELO E PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO DA AMAZÔNIA ORIENTAL¹

Edilson Carvalho BRASIL²
Takashi MURAOKA³

RESUMO: Objetivando estudar as características de adsorção de fósforo em amostras de solos da Amazônia Oriental, foi realizado um ensaio, em laboratório, utilizando-se cinco tipos de solo: LA-médio, LA-argiloso, LA-muito argiloso, PV-argiloso e PV-muito argiloso. As amostras foram coletadas em cinco localidades no Estado do Pará, retiradas da camada superficial, na profundidade de 0-20cm. A capacidade de adsorção de fósforo dos solos foi determinada utilizando-se como modelo matemático a isoterma de Langmuir. Foram empregadas soluções com concentrações crescentes de fósforo, variando de 20 a 100 $\mu\text{g P/ml}$. Após 16 horas de agitação, os resultados de adsorção máxima de fósforo dos solos indicaram que houve diferença entre os solos estudados. Observou-se que o LA m. arg. apresentou a mais elevada capacidade de adsorção de fósforo, destacando-se bastante dos demais. Com valores intermediários de adsorção máxima, encontram-se o PV arg. e o LA arg., enquanto que os valores mais baixos foram observados para o PV m.arg. e o LA m. Foram obtidos coeficientes de correlação altamente significativos para as relações entre os teores de argila e os de matéria orgânica com índice de adsorção máxima dos diferentes solos.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Adsorção de Fósforo, Isoterma de Langmuir, Solos da Amazônia.

¹ Parte do trabalho de Dissertação de Mestrado do primeiro autor, para o curso de Mestrado da ESALQ/USP em Solos e Nutrição de Plantas.

² Engenheiro Agrônomo, M.S., Pesquisador do Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental - CPATU/EMBRAPA, Belém (Pa).

³ Engenheiro Agrônomo, Pesquisador e Professor do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP, PIRACICABA (SP).

PHOSPHORUS ADSORPTION MAXIMUM IN YELLOW LATOSOL AND RED-YELLOW PODZOLIC FROM ORIENTAL AMAZONIAN

ABSTRACT: Aiming to evaluate the phosphorus adsorption characteristics in soils samples from Oriental Amazonian, was carried out a laboratorial trial, using five kind of soils (medium texture yellow latosol, clayey yellow latosol, very clayey yellow latosol, clayey red-yellow podzolic and very clayey red-yellow podzolic), collected in the suercial layer (0-20 cm of depth). The phosphorus adsorption capacity of soils was determinated using as mathematic model the Langmuir isotherm. It were used 5 g samples of each soil shaken for 16 hours in phosphate solutions of various concentrations. The results of phosphorus adsorption maximum indicated that there were differences between the soil. The very clayey yellow latosol showed the most high phosphorus adsorption capacity, standing out the otheres. The clayey yellow latosol and clayey red-yellow podzolic present intermediate values of phosphorus adsorption maximum, while for very clayey red-yellow podzolic and medium texture yellow latosol was observed the most low values. The phosphorus adsorption index presented better correlations with clay and organic matter content.

INDEX TERMS: Phosphorus Adsorption, Langmuir Isotherm, Amazonian Soils

1- INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais remotos, a definição dos mecanismos usados para explicar a retenção de fósforo envolveu precipitação e adsorção.

A adsorção de fosfatos ao solo se estabelece através de ligações covalentes de alta energia, não possuindo relação com a troca iônica e, por isso, tem sido denominada de troca de ligantes (RAIJ, 1991). De modo geral, a retenção de P no solo tem sido estudada envolvendo constituintes específicos do solo, como hidróxidos de ferro e alumínio, minerais alumino-silicatados, carbonatos e até mesmo matéria orgânica. De acordo com THOMAS & PEASLEE (1973), em solos ácidos os óxidos de Fe e Al e minerais de argila são os principais agentes promotores da adsorção de fósforo, sendo que, com o passar do tempo, o fosfato adsorvido nestes constituintes, pode ser recoberto por mais óxidos, ou então torna-se parte de um óxido cristalino.

Tentativas de explicar os mecanismos que envolvem a retenção de fósforo nos solos vêm sendo realizadas por diversos pesquisadores, tendo em vista a distinção entre adsorção e precipitação (WILD, 1950). Apesar desses mecanismos não terem sido, ainda, totalmente elucidados, tem-se verificado alguns avanços nesta área, nos últimos 20 anos (SAMPLE et al, 1980).

A capacidade de fixação de fósforo dos solos pode ser influenciada pelo conteúdo de matéria orgânica, hidróxidos livres de alumínio e ferro, minerais

de argila existentes, PH, cátions presentes no sistema e pelo tipo de fertilizante empregado (SMITH, 1968). Os fatores mais importantes são pH e conteúdo de hidróxidos livres de ferro e alumínio (FASSBENDER, 1978). A participação da matéria orgânica no processo de adsorção ainda é discutível pois os resultados de trabalhos sobre este assunto são bastante controversos. VOLKWEISS & RAIJ (1977) relatam que a matéria orgânica, pré-sorvida sobre os óxidos hidratados, pode atuar na redução da retenção de P dos solos, pelo bloqueio dos sítios de adsorção.

A representação matemática dos mecanismos de adsorção e precipitação tem sido realizada através de isotermas de adsorção, que tentam dimensionar a magnitude dos sistemas de adsorção de fósforo, pelo ajuste dos dados a modelos de isotermas descritos previamente. Isotermas de adsorção descrevem convenientemente e quantitativamente a adsorção de solutos à superfície de sólidos, sob condições constantes de temperatura e pressão, mostrando a quantidade de adsorvato sorvido em função de uma concentração de equilíbrio (BOHN et al, 1985). Em princípio, essa técnica é bastante simples, tendo sido usada para descrever a adsorção de P e propor os mecanismos de ligação em amplo número de solos e minerais (OLSEN & KHASAWNEH, 1980; SAMPLE et al, 1980). Consiste, basicamente, em adicionar uma quantidade conhecida de adsorvato a uma solução contendo quantidades também conhecidas de adsorvente. Admite-se que todo adsorvato removido da solução em equilíbrio represente a quantidade adsorvida. Um aspecto importante é que as condições de equilíbrio sejam mantidas e reações secundárias, tais como precipitação, devam ser reduzidas (BOHN et al, 1985).

As equações de Langmuir, Freundlich e Brunauer-Emmett-Teller (BET) são geralmente utilizadas para descrever a adsorção. A isoterma de Freundlich foi usada pela primeira vez por Russel e Prescott em 1916 (SAMPLE et al, 1980), tendo sido deduzida empiricamente e contendo constantes que não possuem um significado físico (LARSEN, 1967). Contudo, alguns trabalhos mencionam que a equação de Freundlich tem apresentado resultados coerentes com as características de adsorção de P no solo (BARROW, 1978; OLSEN & KHASAWNEH, 1980; NOVAIS, 1977; MOURA FILHO, 1990).

A isoterma de Langmuir tem sido preferida em relação à de Freundlich, por permitir estimar a constante relacionada à energia de adsorção dos solos e à capacidade máxima de adsorção do elemento. OLSEN & WATANABE (1957) foram os primeiros a aplicar a isoterma de Langmuir para descrever a adsorção de fósforo no solo, tendo o uso generalizado a partir de então (FASSBENDER, 1966; SYERS et al, 1973; BRAGA, 1979; BITTENCOURT & ZAMBELO,

1975b; ALVAREZ, 1982). Esta isoterma foi inicialmente deduzida para descrever a adsorção de gases sobre superfícies sólidas, baseada nos seguintes pressupostos: I) a energia de adsorção é constante para todos os sítios e independe da extensão da superfície coberta; II) a adsorção se dá em sítios específicos não havendo interação entre as moléculas adsorvidas; III) a adsorção máxima possível corresponde a uma completa camada monomolecular formada sobre a superfície do adsorvente.

O trabalho foi realizado objetivando determinar as características de adsorção e capacidade de adsorção máxima de fósforo, em amostras de solos da Amazônia Oriental, através da isoterma de Langmuir.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solo utilizadas neste trabalho foram coletadas em cinco localidades do Estado do Pará, retiradas da camada superficial (0-20 cm) de solos classificados como Latossolo Amarelo textura média (LA m.), Latossolo Amarelo textura argilosa (LA arg.), Latossolo Amarelo textura muito argilosa (LA m. arg.), Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa (PV arg.) e Podzólico Vermelho-Amarelo textura argilosa/muito argilosa (PV m. arg.).

Nos locais de coleta dos solos, foram retiradas amostras para determinação de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , pelo método do ataque sulfúrico (EMBRAPA, 1979). De acordo com levantamento preliminar, os resultados das análises foram respectivamente, os seguintes: LA m. 9,6%, 6,4% e 0,7%; LA arg. 12,2%, 8,2% e 1,7%; LA m. arg. 24,5%, 32,5% e 3,2%; PV arg. 9,6% 6,1% e 1,4%; e PV m. arg. 18,4%, 19,1% e 4,8%. Após a coleta, as amostras foram secadas ao ar, para em seguida serem passadas em peneira com malha de 4 mm de abertura. Subamostras foram retiradas e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura, para a caracterização física e química.

As análises físicas (Tabela 1) constaram de análise granulométrica, que seguiu o método da pipeta, preconizado pela EMBRAPA(1979) e densidade do solo, determinada conforme descrito por CAMARGO et al.(1986). A caracterização química das amostras de solo foi realizada através dos procedimentos analíticos descritos por RAIJ & QUAGGIO (1983).

A capacidade máxima de adsorção de fósforo dos solos foi determinada de acordo com o método de OLSEN & WATANABE (1957), que utilizaram

como modelo matemático a isoterma de Langmuir. As amostras de solo, utilizadas neste estudo, foram passadas em peneira com malha de 1 mm de abertura. Em seguida, quantidades de 5 g de terra fina secada ao ar (TFSA), de cada um dos tipos de solo, foram colocadas em erlenmeyer contendo 50 ml de soluções com CaCl_2 0,05M e concentrações crescentes de fósforo, na forma de KH_2PO_4 .

Tabela 1 - Características químicas e físicas das amostras de solo na profundidade de 0-20 cm.

Característica	Solo				
	LA m	LA arg.	LA m.arg.	PV arg.	PV m.arg.
Areia grossa (%)	21	34	7	34	24
Areia fina (%)	52	33	10	32	42
Silte (%)	5	9	12	8	7
Argila (%)	22	24	71	26	27
MO(%)	2,4	2,4	4,0	2,7	2,5
pH (CaCl_2)	4,0	3,5	3,5	3,2	3,8
Ca^{2+} (meq/100 cm ³)	1,0	0,5	1,0	0,4	0,8
Mg^{2+} (meq/100 cm ³)	0,3	0,2	0,8	0,1	0,2
K^+ (meq/100 cm ³)	0,17	0,11	0,11	0,07	0,09
P "disponível" (mg P/dm ³) ¹	2	5	9	4	4
Al^{3+} (meq/100 cm ³)	0,6	1,2	1,5	2,2	0,8
$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ (meq/100 cm ³)	4,2	5,8	9,8	12,1	4,7
Densidade do solo	1,29	1,27	1,06	1,29	1,28

As concentrações das soluções de fósforo continham 0, 20, 40, 60, 80 e 100 $\mu\text{g P/ml}$ e cada tratamento possuía três repetições. As amostras foram agitadas por 16 horas em agitador rotativo horizontal, à temperatura ambiente. Após esse período, a suspensão foi filtrada e, no extrato filtrado, o fósforo foi determinado pelo método colorimétrico baseado no emprego do reativo sulfo-bismuto-molíbdico e usando ácido ascórbico como redutor (CATANI & BATAGLIA, 1968).

O cálculo de fósforo adsorvido foi obtido pela diferença entre as quantidades de fósforo aplicadas e as quantidades que ficaram em equilíbrio. Os dados calculados foram ajustados à isoterma de Langmuir, através de equação de regressão na forma linear, para obtenção dos coeficientes linear e angular. A forma geral da equação de Langmuir é dada pela seguinte expressão:

$$x/m = (KCb/(1 + KC))$$

Onde x/m é a quantidade do elemento adsorvido; C é a concentração de equilíbrio do elemento na solução; b é a quantidade máxima do elemento adsorvido; e K é uma constante relacionada à energia de adsorção do solo. Esta equação foi utilizada na forma linear, que correspondeu a:

$$C/x/m = (1/Kb) + (C/b)$$

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adsorção de fósforo, nos solos utilizados, foi avaliada através da capacidade máxima de adsorção, obtida com um tempo de equilíbrio de 16 horas, sendo que os valores de adsorção máxima, da constante relacionada com a energia de retenção (K), as equações de regressão linear de Langmuir e os seus respectivos coeficientes de correlação são apresentados na Tabela 2.

Os valores de capacidade máxima de adsorção e energia de adsorção indicaram que houve diferenças entre os solos estudados. Observou-se que o LA m. arg. apresentou a mais elevada capacidade de adsorção de fósforo, destacando-se bastante dos demais. Com valores intermediários de adsorção máxima encontraram-se o PV arg. e o LA arg., enquanto que os valores mais baixos foram observados para PV m. arg. e o LA m.

Tabela 2 - Valores de adsorção máxima de fósforo (b), energia de adsorção (K), equações lineares de Langmuir e coeficientes de correlação, para os diferentes solos estudados.

Solo	b (mg. P ads./g solo)	Energia de adsorção (K)	Equação de regressão	Coeficiente de correlação
LA arg.	0,317	0,104	$y = 30,52 + 3,16 x$	0,995
LA m. arg.	0,628	0,205	$y = 7,75 + 1,59 x$	0,994
LA m.	0,239	0,199	$y = 21,05 + 4,18 x$	0,997
PV arg.	0,327	0,174	$y = 17,61 + 3,06 x$	0,997
PV m. arg.	0,255	0,168	$y = 23,34 + 3,93 x$	0,997

As isotermas de adsorção (Figuras 1 e 2) demonstraram que as quantidades de fosfatos adsorvidas pelos solos aumentaram com a concentração da solução de equilíbrio, inicialmente de modo mais intenso e tendendo a adquirir valores mais constantes, em altas concentrações. As isotermas apresentaram formas características de adsorção química de uma monocamada aniônica, pela fase sólida adsorvente do solo, concordando com BARROW (1961).

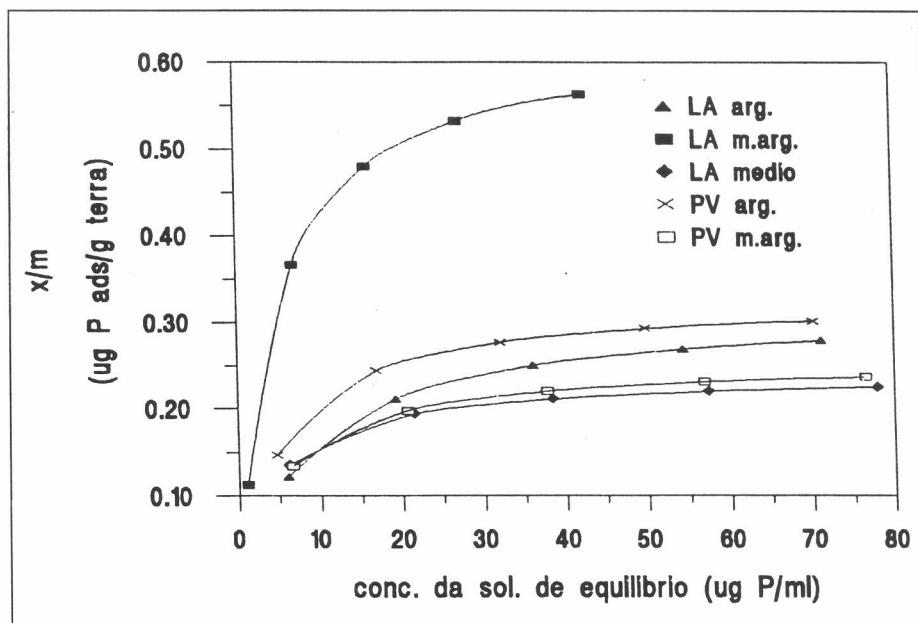


Figura 1 - Isotermas de adsorção de fósforo para os solos estudados.

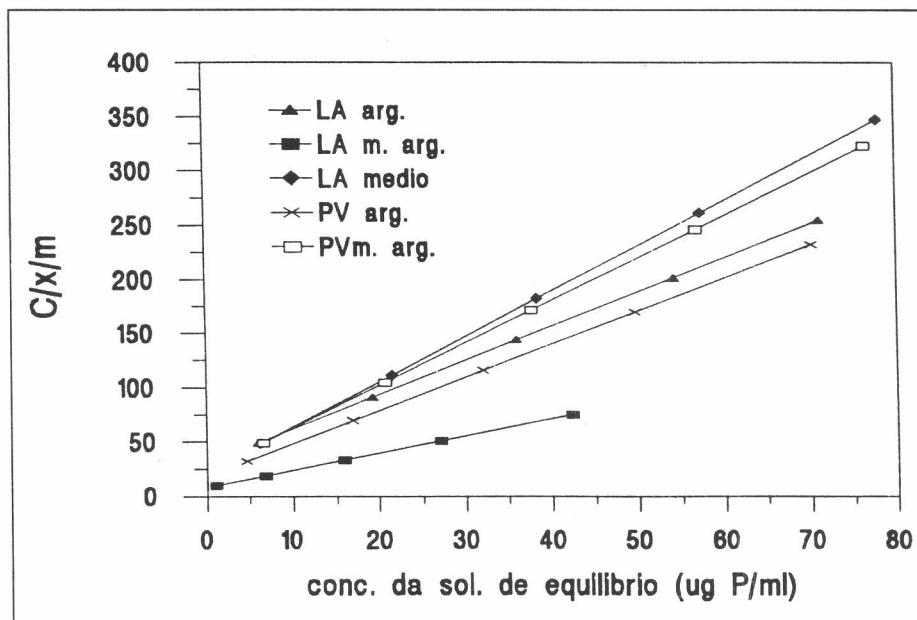


Figura 2 - Isotermas de adsorção de Langmuir na forma linear para os solos estudados.

TUCCI (1991), trabalhando com solos procedentes de Manaus, encontrou valores de capacidade máxima de adsorção da mesma dimensão que os obtidos neste trabalho, para os solos de mesma classe.

Os valores de capacidade máxima de adsorção e energia de adsorção foram relacionados com algumas características dos solos (Tabela 3), para obtenção de informações a respeito de quais constituintes podem estar atuando no processo de retenção de fósforo. Foram obtidos coeficientes de correlação altamente significativos para as relações dos teores de argila e de matéria orgânica com os valores de adsorção máxima dos solos. Estes resultados concordam com os obtidos por alguns autores (FASSBENDER, 1966; MACIEL, 1974; BITTENCOURT & ZAMBELO, 1975a), onde observadas altas correlações com os parâmetros de teor de argila e de matéria orgânica.

SÁ Jr. et al (1968), avaliando a retenção de fósforo em 17 solos de Pernambuco, verificaram que os valores de adsorção máxima de fósforo foram maiores para os solos com textura argilosa, enquanto que os solos com textura arenosa apresentaram valores menores. TUCCI (1991) também verificou que aumentando os teores de argila houve aumento da capacidade máxima de adsorção em solos de Manaus. O autor menciona que variações na capacidade de retenção de fósforo de diferentes solos, com teores de argila semelhantes, são, provavelmente, devido a variações na composição mineralógica da fração argila dos solos.

Tabela 3 - Relações entre as constantes b e K de Langmuir e algumas características dos solos estudados.

Características dos Solos	Equação de regressão	Coeficiente de correlação
b x argila	$y = -11,11 + 0,13x$	0,973
b x mat. orgânica	$y = 1,31 + 0,004x$	0,977
b x pH	$y = 3,88 - 0,001x$	0,400
b x Ca^{2+}	$y = 0,55 + 0,0005x$	0,300
b x AL^{3+}	$y = 0,68 + 0,0016x$	0,411
b x $H^+ + AL^{3+}$	$y = 3,00 + 0,012x$	0,559
K x argila	$y = -7,93 + 246,73x$	0,479
K x mat. orgânica	$y = 1,29 + 8,85x$	0,521
K x pH	$y = 3,26 + 1,97x$	0,257
K x Ca^{2+}	$y = 0,08 + 4,81x$	0,691
K x AL^{3+}	$y = 1,31 - 0,326x$	0,021
K x $H^+ + AL^{3+}$	$y = 4,16 + 18,78x$	0,217

COLEMAN et al (1960) admitem que a fixação de fosfatos está relacionada com diversos constituintes dos solos, tais como: óxidos de ferro cristalizado e amorfos, óxidos de alumínio e alumínio trocável. Conseqüentemente, várias reações podem ocorrer simultaneamente ou não, dependendo dos teores relativos desses constituintes e das características dos solos.

De acordo com FASSBENDER (1969), a matéria orgânica, em geral, não é apontada como responsável pelo processo de retenção de fósforo. Contudo, o efeito da matéria orgânica parece relacionado à interrelação com o conteúdo de argila dos solos, e segundo HUSSAIN & KYUMA (1970), à ação complexante dos compostos de Fe e Al.

Baixas correlações foram encontradas entre a capacidade máxima de adsorção e os teores de Ca^{2+} , Al^{3+} , acidez potencial e pH. Na Tabela 3, percebe-se, ainda, que não houve uma relação clara entre a constante relacionada à energia de adsorção (K) e os constituintes dos solos.

De modo geral, estes resultados indicaram a importância do conhecimento, quantitativo e qualitativo dos componentes da fração argila, concordando com as afirmativas de COLEMAN et al (1960) e TUCCI (1991).

4 - CONCLUSÕES

Nas condições experimentais deste trabalho, os resultados permitem concluir que:

1. Os solos que apresentaram maior capacidade de retenção de fósforo foram o Latossolo Amarelo, textura muito argilosa e o Podzólico Vermelho-Amarelo, textura argilosa.
2. As variações na capacidade de adsorção de fósforo ocorreram, principalmente, em função do conteúdo de argila e teor de matéria orgânica dos solos.

(Aprovado para publicação em 18.12.95)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, V., V.H. *Efecto de los factores cantidad intensidad y capacidad amortiguadora de fosfato en la evaluacion del fósforo disponible de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Mesita Tarasca*, Edi. Michoacán, Chapingo: Colegio de Post-Graduados, 1982. 300p.
- BARROW, G.M. *Physical chemistry*. New York: McGraw-Hill, 1961. 694p.
- BARROW, N.J. The description of phosphate adsorption curves. *Journal of Soil Science*, v. 29, p. 447-462p. 1978.
- BITTENCOURT, V.C., ZAMBELLO, E.J. *Comportamento do fósforo em solos tropicais I. Isotermas de adsorção*. Piracicaba: CENA, 1975a. 23p. (Boletim, 12).
- _____, _____. *Comportamento do fósforo em solos tropicais. II. Reações de retenção*. Piracicaba: CENA, 1975b. 24p. (Boletim, 33).
- BOHN, H., McNEAL, B., O'CONNOR, G. *Soil chemistry*. Toronto: J. Wiley, 1985. 341p.
- BRAGA, J.M. Adsorção aniónica dos solos. In: BRAGA, J.M. *Princípios básicos de química dos solos*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1979. p. 78-144.
- CAMARGO, O.A. de et al. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas*. Campinas: IAC, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106).
- CATANI, R..A., BATAGLIA, O.C. Formas de ocorrência de fósforo no solo Latossolo roxo. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, v. 25, n.1, p. 99-119, 1968.
- COLEMAN, N.T., THORUP, J.T., JACKSON, W.A. Phosphate sorption reactions that involve exchangeable Al. *Soil Science*, Baltimore, v. 90, p. 1-7, 1960.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. *Manual de métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro, 1979.
- FASSBENDER, H.W. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente acidos y su evaluación usando la isotermia de Langmuir. *Fitotecnia Latinoamericana*, v. 3, p. 203-214, 1966.
- _____. Fósforo. In: _____. *Química de suelos*; com ênfasis en suelos de América Latina. Turrialba: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1978. p. 262-307. (Libros y Materiales Educativos, 24).
- _____. Retención y transformación de fosfatos en 8 Latosoles de la Amazonia del Brasil. *Fitotecnia Latinoamericana*, v. 6, n.1, p. 1-9, 1969.
- HUSSAIN, A., KYUMA, K. Change characteristics of soil organo mineral complexes and their effect on phosphate fixation. *Soil Science and Plant Nutrition*, v. 16, p. 154-162, 1970.
- LARSEN, S. Soil phosphorus. *Advances in Agronomy*, New York, v. 19, p. 151-210, 1967.
- MACIEL, C.A.C. *Estudos sobre a fixação de fósforo em alguns solos do Paraguai*, Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1974. 79p. (Dissertação (Mestrado) - ESALQ, 1974).

- MOURA FILHO, G. *Disponibilidade de fósforo em amostras de solos de várzeas*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1990. 79p. (Dissertação (Mestrado) - UFV, 1990).
- NOVAIS, R.F. *Phosphorus suppling capacity of previously heavily fertilized soils*. Raleigh: North Carolina State University, 1977. 153p. (Tese. (Ph.D.) - North Carolina State University, 1977).
- OLSEN, S.R., KHASAWNEH, F.E. Use and limitation of physical - chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. In: KHASAWNEH, F.E. (Ed.), SAMPLE, E.C. (Ed.) KAMPRATH, E.J. (Ed.). *The role of phosphorus in agriculture*. Madison: ASA, 1980.
- _____, WATANABE, F. A method to determine a phosphorus absorption maximum of isoter. *Soil Science Society of American Proceedings*, Madison, v. 21, n.1, p. 144-149, 1957.
- RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Agronômica Ceres: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.
- _____, QUAGGIO, J.A. *Métodos de análise de solos para fins de fertilidade*. Campinas:IAC, 1983, 31p. (Boletim Técnico, 81).
- SÁ Jr., J.P.M., GOMES, I.F., VASCONCELOS, A.L. de. Retenção de fósforo em solos da Zona da Mata de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.3, p. 183-188, 1968.
- SAMPLE, E.C., SOPER, R.J., RACZ, G.J. Reactions of phosphate fertilizer in soils. In: KHASAWNEH, F.C. (Ed.), SAMPLE, E.C. (Ed.), KAMPRATH, E.J. (Ed.). *The role of phosphorus in agriculture*. Madison: ASA, 1980. p. 260-310.
- SMITH, A.N. The uptake of phosphorus by wheat and clover from four inorganic soil phosphate fractions after the addition of contrasting types of phosphatic fertilizer. *Plant and Soil*, The Hague, v.29, n.1, p. 144-155, 1968.
- SYERS, J.K. et al. Phosphate sorption by soils evaluated by Langmuir adsorption equation. *Soil Science Society of American Proceedings*, Madison, v. 37, p. 358-363, 1973.
- THOMAS, G.W., PEASLEE, D.E. Testing soils for phosphorus, In: WALSH, L.W. (Ed.), BEATON, J.D. (Ed.). *Soil testing and plant analysis*. Madison: SSSA, 1973, p. 115-129.
- TUCCI, C.A.F. *Disponibilidade de fósforo em solos da Amazônia*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1991. 142p. (Tese (Doutorado) - UFV, 1991).
- VOLKWEISS, S.J., RAJ, B. van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO; BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4, 1976, Brasília. São Paulo: Ed. da USP; Belo Horizonte: Itatiaia, 1977. p. 317-332.
- WILD, A. The retention of phosphate by soil. *Journal of Soil Science*, Baltimore, v. 1. p. 221-238, 1950.