

FÓSFORO E ATIVIDADE DE FOSFATASE EM DOIS SOLOS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE USO¹

LUIZ ARNALDO FERNANDES², ANTONIO EDUARDO FURTINI NETO,
NILTON CURI, JOSÉ MARIA DE LIMA e GERALDO APARECIDO A. GUEDES³

RESUMO - O trabalho foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, MG, com dois tipos de solos (Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada), sob três condições de uso e quatro práticas culturais de correção da fertilidade do solo, com o objetivo de estudar as formas de P no solo, a atividade da fosfatase e o P extraído pelo Mehlich 1, Mehlich 3 e resina. Plantas de feijoeiro foram cultivadas com o objetivo de correlacionar a produção de matéria seca com os parâmetros de solo estudados. No Latossolo Roxo (LR), independentemente das condições de uso e das práticas de correção da fertilidade, observou-se predomínio da fração de P ligado a ferro, ao passo que na Terra Roxa Estruturada (TR) observaram-se maiores teores de P ligado a alumínio e a cálcio. As condições de uso exerceram grande influência nas formas orgânicas de P e na atividade da fosfatase, sendo os solos sob mata os que apresentaram teores mais elevados de P orgânico total, P orgânico na biomassa microbiana e atividade das fosfatases ácida e alcalina. Os três extratores apresentaram correlações positivas e significativas com as formas de P inorgânico do solo e com os parâmetros de planta avaliados.

Termos para indexação: fósforo inorgânico, fósforo orgânico, extratores de fósforo.

PHOSPHORUS AND ACID PHOSPHATASE ACTIVITY IN TWO SOILS UNDER DIFFERENT USE CONDITIONS

ABSTRACT - The experiment was carried out at the greenhouse of Department of Soil Science of Universidade Federal de Lavras, State of Minas Gerais, Brazil, using a Dusky-Red Latosol (Oxisol) and a Structured Dusky-Red Earth (Ultisol), under three use conditions and four practices of correction of soil fertility, with the objective of studying the forms of P in soil, the phosphatase activity and the P extracted by Mehlich 1, Mehlich 3 and resin. Bean plants were cultivated with the objective of correlating the dry matter production with the soil parameters studied. In the Oxisol, independently of use conditions and of practices of fertility correction, it was observed dominance of fraction of P linked to iron, while in the Ultisol higher amounts of P linked to aluminium and calcium were observed. The use conditions had great influence upon organic forms of P and phosphatase activity, being the soils under forest the ones that presented higher amounts of total organic P, organic P in microbial biomass and higher activity of acid and alkaline phosphatases. The three extractants presented positive and significant correlations with the forms of soil inorganic P and with the plant parameters evaluated.

Index terms: inorganic phosphorus, organic phosphorus, phosphorus extractants.

¹ Aceito para publicação em 17 de outubro de 1997.

Extraído da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada à Universidade Federal de Lavras (UFLA).

² Eng. Agr., M.Sc., Aluno do curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, Dep. de Ciência do Solo, UFLA, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras, MG. Bolsista do CNPq. E-mail: larnaldo@ufla.br

³ Eng. Agr., Ph.D., Dep. de Ciência do Solo, UFLA.

INTRODUÇÃO

Na maioria dos solos dos trópicos úmidos, o P é considerado um dos nutrientes mais limitantes à produtividade dos agroecossistemas (Ae et al., 1990). O ciclo do P, diferentemente dos ciclos do C, N e S, envolve reações de equilíbrio entre os constituintes orgânicos e inorgânicos do solo (Duxbury et al.,

1989). O P lábil, que regula o P da solução do solo e que é absorvido pelas plantas, varia em decorrência dos mecanismos físico-químicos e bioquímicos que ocorrem no solo, tais como a depleção de P pelas raízes das plantas, imobilização e mineralização das frações orgânicas e adsorção e dessorção das frações inorgânicas (Sayal & De Datta, 1991).

O P do solo é suprido pelo material de origem ou pela adição de fertilizantes fosfatados (Tiessen et al., 1984). Segundo esses autores, a maioria dos solos contém fosfato de cálcio no material de origem, o qual é hidrolizado durante o seu desenvolvimento para suprir sua solução em P. O fósforo em solução pode fixar-se à superfície dos minerais, precipitar-se com vários cátions, ou ser incorporado na biomassa e na matéria orgânica do solo. Durante o intemperismo do solo, as bases e a sílica são removidas e os óxidos (termo inclusivo para óxidos, oxidróxidos e hidróxidos) de ferro e alumínio aumentam sua concentração relativa, permitindo a formação de fosfatos secundários de ferro e de alumínio (Hsu, 1977). A abundância relativa dos minerais primários, ligados ao cálcio, os fosfatos inorgânicos secundários e o P orgânico podem ser usados para inferir sobre o processo de intemperismo do solo (Walker & Syers, 1976). Assim, a natureza e a distribuição das formas de P no solo fornecem informações adicionais na avaliação da disponibilidade de P e na estimativa da intemperização química (Machado et al., 1993).

O manejo do solo e o tipo de vegetação afetam as formas de P do solo, principalmente as orgânicas, por estarem diretamente relacionadas com a atividade biológica do solo (Tate, 1984). Quando uma floresta tropical é convertida em pastagem ou área de cultivo de grãos, a ciclagem de nutrientes é fortemente afetada (Magid, 1993). O P orgânico é transformado em P solúvel pela ação das fosfatases, enzimas que catalizam a hidrólise de ésteres de fosfatos, liberando fosfato solúvel. As fosfatases são secretadas pelas raízes das plantas e pelos microrganismos do solo (Nahas et al., 1994).

O presente trabalho teve como objetivo estudar formas de P do solo, a atividade das fosfatases e o P extraído pelo Mehlich 1, Mehlich 3 e resina em dois solos do município de Lavras, MG, sob três condições de uso, submetidos à calagem e fertilização com fósforo.

MATERIAL E MÉTODOS

Solos

Amostras de Latossolo Roxo (LR) e de Terra Roxa Estruturada (TR), fase floresta tropical subperenifólia, da região de Lavras, sob mata, pastagem e cultivo, foram coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade.

O LR sob mata apresentava vegetação primária não perturbada; o LR sob pastagem, com *Brachiaria decumbens*, recebeu calcário e adubação com superfosfato simples, apenas por ocasião da instalação da pastagem em 1986; no LR sob cultivo, sem vegetação durante a coleta das amostras, foi plantado milho e feijão por vários anos e fertilizado anualmente com NPK, sendo a última calagem realizada três anos antes da coleta das amostras.

A TR sob mata apresentava vegetação secundária; a TR sob pastagem estava coberta com capim gordura (*Melinis minutiflora*) e havia recebido calagem dois anos antes da coleta das amostras; a TR sob cultivo, que à época da coleta das amostras encontrava-se sem vegetação, estava sendo plantada anualmente com arroz e adubada com NPK, sendo a última calagem realizada dois anos antes da coleta das amostras.

Características químicas, físicas e mineralógicas dos solos estudados

O material dos solos, após secagem ao ar, foi passado em peneira de 2 mm. A caracterização química, física e mineralógica dos solos e as doses de corretivo aplicadas, encontram-se na Tabela 1. Para a determinação da dose de corretivo utilizou-se o método da curva de incubação com $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$, na relação Ca:Mg de 4:1, para elevar o pH dos solos para 6,5. A análise mineralógica qualitativa da fração argila foi realizada em amostras com e sem tratamento com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), através da difração de raios-X (método do pó). As análises químicas (pH em água, K, Ca, Mg, Al, H+Al, P e matéria orgânica do solo) e físicas (areia, silte e argila) foram realizadas conforme Embrapa (1979). O P total foi determinado segundo Anderson & Ingram (1992). Os teores de Fe livre (Fe_l) foram obtidos mediante quatro extrações sucessivas com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Mehra & Jackson, 1960). Os teores dos óxidos do ataque sulfúrico foram determinados conforme Vettori (1969), com modificações (Embrapa, 1979). Análise térmica diferencial (ATD) foi realizada na fração argila desferrificada com DCB (duas extrações sucessivas). A capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) foi estimada segundo Syers et al. (1973), e o índice tampão de P (ITP) foi determinado à semelhança do estabelecido por Accioly et al. (1985) para o enxofre.

TABELA 1. Características químicas, físicas e mineralógicas dos solos (na camada de 0-20 cm de profundidade) e doses de calcário para elevar o pH a 6,5 (média de três repetições).

Características ¹	Solos e condições de uso					
	LR mata	LR pasto	LR cultivado	TR mata	TR pasto	TR cultivado
pH em água	4,3	5,7	5,6	5,5	5,8	5,8
K (mg/dm ³)	48	78	77	66	83	83
Ca (cmol _c /dm ³)	0,3	2,8	2,3	3,1	3,3	3,1
Mg (cmol _c /dm ³)	0,1	0,8	0,6	0,8	0,8	0,7
Al (cmol _c /dm ³)	1,1	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1
H+Al (cmol _c /dm ³)	12,3	4,3	4,8	6,1	5,1	5,2
P (mg/dm ³)	2	13	3	3	4	4
S (cmol _c /dm ³)	0,5	3,5	3,1	4,1	4,3	4,0
t (cmol _c /dm ³)	1,6	3,7	3,4	4,4	4,4	4,1
T (cmol _c /dm ³)	12,8	7,8	7,9	10,2	9,4	9,2
m (%)	69	6	9	7	2	2
V (%)	4	45	39	40	46	43
Mat. org. (g/kg)	51	40	35	34	38	31
Areia (g/kg)	320	280	100	360	440	360
Silte (g/kg)	120	200	300	280	260	300
Argila (g/kg)	560	520	600	360	300	340
P-total (mg/kg)	1025	1025	1110	920	910	890
Fe ₂ O _{3(d)} (g/kg) ¹	118	115	120	55	48	50
SiO ₂ (g/kg) ²	137,80	-	-	177,70	-	-
Al ₂ O ₃ (g/kg) ²	257,60	-	-	240,50	-	-
Fe ₂ O ₃ (g/kg) ²	173,70	-	-	169,30	-	-
TiO ₂ (g/kg) ²	13,20	-	-	10,50	-	-
Ki	0,91	-	-	1,24	-	-
Ct (g/kg) ¹	177	164	190	191	159	181
Gb (g/kg) ¹	194	180	208	64	53	61
Gb/Gb+Ct	0,52	0,52	0,52	0,25	0,25	0,25
CMAP (mg/kg) ¹	2251	1915	2178	1274	1189	983
ITP ¹	3,47	0,83	1,96	0,21	0,20	0,20
Calagem (t/ha)	9,0	1,7	1,8	2,0	1,5	1,4

¹ Fe₂O_{3(d)}: Ferro ditionito; Ct: caulinita; Gb: gibbsita; CMAP: capacidade máxima de adsorção de P; ITP: índice tampão de P.

² Óxidos do ataque sulfúrico.

Incubação dos solos com calcário e fósforo e cultivo de feijoeiro

Os solos foram incubados em vasos com capacidade de três dm³, com e sem as respectivas doses de corretivo, obtendo-se seis vasos com calagem e seis vasos sem calagem para cada solo. A umidade foi mantida em torno de 70% do volume total de poros (Freire et al., 1980) por 15 dias. Após esse período, o material foi seco e peneirado e recebeu aplicação de 250 mg de P/kg de solo, sendo 195 mg/kg na forma de NH₄H₂PO₄ e 55 mg/kg na forma de KH₂PO₄. Desse modo, obtiveram-se quatro tratamentos para práticas de correção da fertilidade do solo: sem aplicação de calcário e de fósforo (testemunha); com aplicação de calcário (C); com aplicação de fósforo (P); e com

aplicação de calcário e de fósforo (C+P). O fornecimento do N foi de 85 mg/kg, e o de K de 67 mg/kg de solo. Aplicou-se ainda uma adubação básica com 40 mg de S, 0,8 mg de B, 1,5 mg de Cu e 5 mg de Zn por kg de solo, na forma de sais p.a. de CaSO₄.2H₂O, H₃BO₃, CuCl₂ e ZnCl₂, respectivamente. O material de solo foi novamente incubado por 180 dias (8-11-95 a 8-02-96), mantendo-se a umidade em torno de 70% do volume total de poros ocupados por água. Após os 180 dias de incubação, foram semeadas quatro sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca-MG) por vaso. Cinco dias após a emergência, realizou-se um desbaste deixando-se duas plântulas por vaso.

Foi realizada uma adubação de cobertura com 40 mg de N e 30 mg de K/kg de solo aos 20 dias após a emergên-

cia das plântulas. Durante o período, a umidade dos solos foi mantida a 70% do volume total de poros (VTP), de acordo com Freire et al. (1980), aferida mediante pesagens diárias dos vasos, repondo-se a água evapotranspirada com água desmineralizada.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, arranjado num esquema fatorial 2x3x4 (2 solos: LR e TR; três condições de uso: mata, pastagem e cultivo anual e quatro práticas de correção da fertilidade do solo: testemunha, calagem, fósforo e calagem + fósforo), com três repetições.

Avaliação do experimento

Após 180 dias de incubação, determinou-se o P na biomassa microbiana pelo método da fumigação e extração (Brookes et al., 1982) e a atividade das fosfatases ácida e alcalina pelo método modificado de Nahas et al. (1994).

As formas de P inorgânico, P ligado a ferro (P-Fe), alumínio (P-Al) e a cálcio (P-Ca) foram determinadas pelo método do fracionamento de Chang & Jackson (1957), modificado por Braga (1980). O P orgânico foi estimado pelo método da ignição descrito em Anderson & Ingram (1992). O fósforo inorgânico foi ainda determinado pelos extratores Mehlich 1 (Embrapa, 1979), Mehlich 3 (Mehlich, 1984) e pela resina trocadora de íons (Raij et al., 1987).

Análises estatísticas

As variáveis estudadas foram submetidas a análises de variância e as médias foram comparadas por intermédio de contrastes testados pelo teste de Scheffé.

Os contrastes de Y_1 a Y_6 foram definidos para comparar as práticas culturais de correção da fertilidade do solo. Os contrastes de Y_7 a Y_9 foram definidos para comparar as diferentes condições de uso dos solos estudados e o contraste Y_{10} foi escolhido para comparar as classes de solo.

Contrastes:

$Y_1 = X_1 - X_2$; $Y_2 = X_1 - X_3$; $Y_3 = X_1 - X_4$; $Y_4 = -X_2 - X_3$; $Y_5 = -X_2 - X_4$;
 $Y_6 = -X_3 - X_4$; $Y_7 = Z_1 - Z_2$; $Y_8 = Z_1 - Z_3$; $Y_9 = Z_1 - Z_4$; $Y_{10} = W_1 - W_2$,
 onde:

X_1, X_2, X_3 e X_4 = solo natural, com calagem, com aplicação de P e com aplicação de calcário e P, respectivamente;
 Z_1, Z_2 e Z_3 = mata, pastagem e cultivo anual, respectivamente;

W_1 e W_2 = Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada, respectivamente.

As variáveis estudadas foram ainda correlacionadas entre si, através de correlações de Pearson.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Formas de P inorgânico

Observou-se predomínio da fração de P-Fe no LR (Tabelas 2 e 3), ao passo que na TR houve maiores teores de P-Al e P-Ca. Estas observações refletem o estágio de intemperismo mais avançado do LR em relação à TR. À medida em que os solos vão se tornando mais ácidos pela remoção de sílica e de bases, as formas mais solúveis de P-Ca são convertidas para P-Al e P-Fe (Hsu, 1977). As formas de P-Fe, P-Al e P-Ca, associadas à fase sólida do solo, são chamadas de formas ativas, ao passo que as formas oclusas de P e formas que se dissolvem com a redução química do solo pelo DCB, são consideradas formas inativas (Chang & Jackson, 1957). As formas ativas são mais disponíveis para as plantas (Udo & Dombo, 1979); esta disponibilidade depende do tempo e da estabilidade dos compostos formados (Raij, 1991). Machado et al. (1993) verificaram nos solos mais velhos do Rio Grande do Sul predomínio de P-Fe em relação às demais formas inorgânicas ativas, evidenciando que esses solos atingiram um grau avançado de intemperização.

A predominância de gibbsita no LR e de caulinita na TR e o menor valor da relação Ki e da relação silte/argila no LR (Tabela 1) também refletem o estágio mais avançado de intemperismo do LR em relação à TR. A estrutura granular presente no LR permite uma maior remoção de sílica em relação à estrutura em blocos da TR, favorecendo a formação de gibbsita (Marques Junior et al., 1992). Os baixos teores de bases trocáveis do LR sob mata em relação à TR sob mata (Tabela 1), também evidenciam o elevado grau de intemperismo - lixiviação a que foi submetido o material de origem do LR.

A aplicação de calcário e P, em relação aos tratamentos que receberam apenas P, promoveu tendência de aumento de todas as frações de P inorgânico, independentemente do solo e das condições de uso (Tabelas 2 e 3). Comportamento semelhante tem sido observado por vários autores em diferentes classes de solo (Braga & Defelipo, 1972; Bahia Filho, 1974). A tendência de aumento do P-Fe e P-Al com a aplicação de calcário, não era esperada, uma vez que a elevação do pH do solo aumenta a solubilidade dessas frações de P, aumentando, deste modo, o P da

TABELA 2. Fósforo (mg/kg de solo) ligado a ferro (P-Fe), alumínio (P-Al) e a cálcio (P-Ca), e fósforo extraído pelo Mehlich 1, Mehlich 3 e resina, em função das condições de uso e aplicação de corretivo e fósforo (médias de três repetições).

Práticas culturais ¹	Solos e condições de uso					
	LR mata	LR pasto	LR cultivado	TR mata	TR pasto	TR cultivado
	P-Fe					
Testemunha	39	41	44	24	24	28
C	42	42	46	28	26	28
P	142	152	161	112	120	116
C+P	161	155	174	117	125	120
	P-Al					
Testemunha	19	17	17	29	26	29
C	19	19	21	31	31	32
P	76	83	61	151	148	148
C+P	78	90	73	157	151	149
	P-Ca					
Testemunha	4	7	8	14	16	13
C	8	8	10	15	18	17
P	8	10	15	20	18	21
C+P	12	13	18	28	22	25
	Mehlich 1					
Testemunha	2	3	2	4	4	4
C	2	3	2	4	4	5
P	40	49	23	49	57	58
C+P	39	54	25	52	60	65
	Mehlich 3					
Testemunha	3	15	3	6	8	7
C	3	15	3	7	8	7
P	49	55	24	61	67	71
C+P	46	68	26	66	76	85
	Resina					
Testemunha	11	10	9	10	13	13
C	12	11	9	13	13	14
P	67	66	26	100	92	95
C+P	64	77	32	108	116	96

¹ Testemunha: sem calagem e sem P; C: com calagem; P: com fósforo; C+P: com calagem e com fósforo.

solução do solo (Kamprath, 1977). Entretanto, uma calagem visando liberar o P adsorvido seria inviável, porque o pH deve ser elevado para 7,0 ou 8,0 para que uma quantidade significativa de P seja liberada dos compostos de ferro e mais ainda dos compostos de alumínio (Swenson et al., 1949). A calagem elevada poderia alterar a disponibilidade de vários elementos no solo, principalmente os micronutrientes. Uma possível explicação para o pequeno aumento das formas de P-Fe e P-Al, com a calagem, é a dispersão dos vários compostos presentes no solo pela

elevação do pH, expondo cargas elétricas positivas que adsorvem P, e que podem ser extraídas pelos reagentes utilizados na determinação dessas formas de fósforo.

A aplicação isolada de P também aumentou todas as frações de P inorgânico (Tabelas 2 e 3). O P solúvel adicionado ao solo pode precipitar-se com íons alumínio, ferro ou cálcio presentes na solução do solo ou ser adsorvido na superfície das argilas caulínticas ou dos óxidos de ferro e de alumínio. Essa adsorção ocorre através de ligações covalentes,

TABELA 3. Estimativas dos contrastes para fósforo ligado a ferro (P-Fe), alumínio (P-Al) e a cálcio (P-Ca), fósforo extraído pelo Mehlich 1 (P-M1), Mehlich 3 (P-M3) e resina (P-Re), fósforo orgânico total (P-org.), fósforo na biomassa microbiana (P-bio), fosfatase ácida (Acid.) e fosfatase alcalina (Alc.), em dois solos sob diferentes condições de uso, submetidos à calagem e à aplicação de P.

Contrastes ¹	Estimativas									
	P-Fe	P-Al	P-Ca	P-M1	P-M3	P-Re	P-org.	P-bio	Acid.	Alc.
Testemunha x C	-2,00 ^{NS}	-2,67 ^{NS}	-2,34 ^{NS}	0,01 ^{NS}	-0,17 ^{NS}	-0,99 ^{NS}	1,83 ^{NS}	-2,82 ^{NS}	-75,67 ^{**}	-4,33 ^{NS}
Testemunha x P	-100,50 ^{**}	-88,34 ^{**}	5,00 [*]	-38,16 ^{**}	-47,50 ^{**}	-59,99 ^{**}	0,17 ^{NS}	-2,00 ^{NS}	-37,51 ^{NS}	-25,50 ^{NS}
Testemunha x C+P	-108,67 ^{**}	-93,50 ^{**}	-9,34 [*]	-41,34 ^{**}	-54,17 ^{**}	-142,17 ^{**}	7,50 [*]	-3,83 [*]	-13,50 ^{NS}	-56,66 ^{NS}
C x P	-98,5 ^{**}	-85,67 ^{**}	-2,66 [*]	-38,16 ^{**}	-47,33 ^{**}	-59,00 ^{**}	-1,66 ^{NS}	0,82 ^{NS}	38,16 ^{NS}	-21,17 ^{NS}
C x C+P	-106,67 ^{**}	-90,83 ^{**}	-7,00 ^{**}	-41,34 ^{**}	-54,00 ^{**}	-66,84 ^{**}	5,67 ^{NS}	-1,01 ^{NS}	62,17 ^{**}	-52,33 ^{NS}
P x C+P	-8,17 ^{NS}	-5,16 [*]	-4,34 [*]	-3,18 [*]	-6,67 ^{**}	-7,84 [*]	7,33 [*]	-1,83 ^{NS}	24,01 ^{NS}	-31,16 ^{NS}
Mata x pasto	-31,04 ^{**}	-0,63 ^{NS}	-0,37 ^{NS}	-7,75 [*]	-8,87 ^{**}	-6,50 [*]	9,71 ^{**}	4,13 [*]	176,13 ^{**}	3,12 ^{NS}
Mata x cultivo	-6,50 ^{NS}	3,75 ^{NS}	-2,23 ^{NS}	1,00 ^{NS}	1,88 ^{NS}	11,38 ^{**}	16,87 ^{**}	6,50 [*]	244,25 ^{**}	21,50 ^{NS}
Pasto x cultivo	24,54 ^{NS}	4,38 ^{NS}	-1,86 ^{NS}	8,75 ^{**}	10,75 ^{**}	17,88 ^{**}	7,16 [*]	2,37 ^{NS}	68,12 ^{**}	18,38 ^{NS}
LR x TR	72,33 ^{**}	-42,42 ^{**}	-8,83 [*]	-5,59 [*]	-13,25 ^{**}	-20,75 ^{**}	11,42 ^{**}	2,17 ^{NS}	77,50 ^{**}	26,42 ^{NS}

¹ Testemunha: sem calagem e sem P; C: com calagem; P: com fósforo; C+P: com calagem e com fósforo.

^{**}, ^{*} e ^{NS} Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente (teste de Scheffé).

de alta energia, e parte do fosfato adsorvido permanece por certo tempo na forma lábil, podendo retornar à solução do solo (Sayal & De Datta, 1991).

As condições de uso não alteraram as formas de P-Fe, P-Al e P-Ca. Segundo Thomas & Peaslee (1973), somente a longo prazo as práticas de uso afetam essas formas de P inorgânico.

Fósforo orgânico total e fósforo orgânico na biomassa microbiana

Os menores teores de P orgânico foram observados nos solos sob cultivo anual (Tabelas 3 e 4), possivelmente pelo menor teor de matéria orgânica desses solos (Tabela 1). Nahas et al. (1994) encontraram correlação positiva e significativa entre os teores de matéria orgânica e P orgânico. O cultivo do solo reduz o teor de P orgânico pelo favorecimento da atuação dos microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica (Tate, 1984). Provavelmente, a falta de reposição de resíduos orgânicos aos solos sob cultivo anual também influencia tal comportamento. Além desse aspecto, as várias formas de P orgânico encontradas no solo diferem entre si quanto à facilidade de mineralização, sendo os fosfolípidios e os ácidos nucléicos mais facilmente

mineralizáveis do que os fosfatos de inositol (Hawkes et al., 1984). A redução do P orgânico nas áreas cultivadas anualmente em relação às áreas de mata dos solos do presente trabalho pode ser causada também pelas condições de uso e qualidade da matéria orgânica. É interessante observar que a aplicação de calagem mais P reduziu os teores de P orgânico total em comparação aos tratamentos que não receberam a aplicação desses materiais (Tabelas 3 e 4).

Segundo Anderson & Flanagan (1989), a transformação de uma área de mata natural em agrícola altera a qualidade do material orgânico adicionado ao solo. Os resíduos com elevados teores de carboidratos solúveis e celulose são mais facilmente decompostos do que os ricos em lignina e compostos aromáticos.

O P orgânico no LR sem calagem e sem P correspondeu a 13,39, 10,73 e 9,37% do P total deste solo quando sob mata, pastagem e cultivo, respectivamente. Na TR, esses percentuais equivalem a 11,96, 12,42 e 10,11% do P total nos sistemas de mata, pastagem e cultivo, respectivamente. Esses teores estão abaixo dos encontrados por Trasar Cepeda et al. (1987), de cerca de 54,6%, em solos

TABELA 4. Fósforo (mg/kg de solo) orgânico total, fósforo orgânico imobilizado na biomassa microbiana e atividade das fosfatases (μmol de paranitrofenolfosfato/g/hora) ácida e alcalina nos solos, em função das condições de uso e aplicação de corretivo e fósforo (médias de três repetições).

Práticas culturais ¹	Solos					
	LR mata	LR pasto	LR cultivado	TR mata	TR pasto	TR cultivado
P orgânico total						
Testemunha	127	110	104	110	113	90
C	123	107	104	110	110	89
P	125	103	117	107	110	91
C+P	120	102	106	102	91	88
P orgânico na biomassa microbiana						
Testemunha	15	7	9	10	9	5
C	18	9	10	14	14	7
P	18	10	9	11	12	7
C+P	21	11	12	12	14	8
Fosfatase ácida						
Testemunha	650	468	385	552	443	402
C	802	644	423	575	443	467
P	849	440	378	596	443	419
C+P	713	496	397	504	455	416
Fosfatase alcalina						
Testemunha	136	133	88	90	98	89
C	123	143	88	98	99	109
P	155	123	144	142	114	109
C+P	188	206	159	152	143	126

¹ Testemunha: sem calagem e sem P; C: com calagem; P: com fósforo; C+P: com calagem e com fósforo.

de regiões temperadas. O teor de P orgânico diminui mais rapidamente em solos de regiões tropicais do que em regiões temperadas, em virtude da maior velocidade de decomposição da matéria orgânica do solo (Anderson & Flanagan, 1989).

Ao contrário do observado com o P orgânico total, a aplicação de calagem mais P aumentou os teores de P imobilizado na biomassa microbiana (Tabelas 3 e 4), a qual é considerada a fração lábil da matéria orgânica do solo (Tate, 1994). Guerra et al. (1995) também verificaram aumento do conteúdo de P na biomassa microbiana com a aplicação de superfosfato. Verifica-se ainda nas Tabelas 3 e 4, que nos solos sob mata, a quantidade de P imobilizado na biomassa microbiana foi superior à dos demais materiais de solo, possivelmente pela maior atividade de microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica. Essa maior taxa de decomposição se correlaciona positivamente com o conteúdo de P orgânico e P imobilizado na

biomassa microbiana (Lopes-Hernandes & Ninõ, 1993). Também Brookes et al. (1982) encontraram uma relação linear entre o P da biomassa e a biomassa de carbono do solo, e ainda verificaram que a biomassa tendeu a ser maior em solos sob pastagem permanente do que em solos agrícolas. No presente trabalho foi verificada correlação positiva e significativa entre o P orgânico e o P imobilizado na biomassa microbiana (Tabela 5).

Há poucos estudos de campo sobre a influência das práticas culturais na mineralização do P orgânico ou no conteúdo de biomassa (Brookes et al., 1982). A menor quantidade de P imobilizado na biomassa microbiana nos solos sob cultivo refletiu as mudanças na atividade biológica do solo decorrentes do seu uso, uma vez que a biomassa responde mais rapidamente a tais mudanças do que os parâmetros físico-químicos do solo (Powlson et al., 1987). Gerald et al. (1995) verificaram que a transformação de uma área de mata natural em pastagem

TABELA 5. Coeficientes de correlação entre as formas de P no solo e atividade das fosfatases.

Parâmetros ¹	P-Fe	P-Al	P-Ca	P-org.	P-bio	P-M1	P-M3	P-Re	Acid.	Alc.
P-Fe	1,00	0,68*	-0,31	-0,06	0,26	0,80*	0,66*	0,77*	0,70	0,72*
P-Al		1,00	0,75*	-0,38	-0,04	0,96*	0,94*	0,98*	-0,14	0,37
P-Ca			1,00	-0,59	-0,18	0,61*	0,60*	0,65*	-0,38	0,04
P-org.				1,00	0,76*	-0,33	-0,35	-0,32	0,69*	0,20
P-bio					1,00	0,11	0,08	0,14	0,77*	0,45
P-M1						1,00	0,99*	0,97*	-0,08	0,49
P-M3							1,00	0,97*	-0,09	0,50
P-Re								1,00	-0,03	0,46
Acid.									1,00	0,42
Alc.										1,00

¹ P-Fe: P ligado a ferro; P-Al: P ligado a alumínio; P-Ca: P ligado a cálcio; P-org.: P orgânico; P-bio: P na biomassa microbiana; P-M1: Mehlich 1; P-M3: Mehlich 3; P-Re: resina; Acid.: fosfatase ácida; Alc.: fosfatase alcalina.

* Significativo a 5%, pelo teste de T.

refletiu na biomassa microbiana, e que após quatro anos da instalação da pastagem a biomassa microbiana da área de pastagem foi maior do que a da mata, embora tenha declinado novamente após dez anos. No presente estudo, provavelmente os solos ainda não tenham atingido um estágio de estabilização que permita fazer tais comparações, mesmo tendo-se observado maiores teores de P na biomassa microbiana nos solos sob mata (Tabelas 3 e 4).

Atividade das fosfatases ácida e alcalina

A maior atividade das fosfatases ácida e alcalina foi verificada nos solos sob mata e pastagem (Tabelas 3 e 4), provavelmente em razão dos maiores teores de matéria orgânica, P orgânico, P imobilizado na biomassa microbiana e tipo de vegetação desses solos. Nahas et al. (1994) verificaram correlação positiva e significativa entre a matéria orgânica do solo e atividade das fosfatases ácida e alcalina. Cabe ressaltar que os solos sob cultivo anual encontravam-se sem cobertura vegetal durante a coleta das amostras de solo.

Verificou-se nos dois solos, independentemente do sistema de uso, predomínio da fosfatase ácida em relação à alcalina (Tabela 4). Rojo et al. (1990) também verificaram esta tendência, pelo fato de a fosfatase ácida predominar em solos ácidos e a alcalina em solos alcalinos. No entanto, verificou-se, em valores médios, maior atividade da fosfatase alcalina no LR sob mata do que nos demais solos (Tabela 4), apesar da maior acidez apresentada por esse

solo. Essa maior atividade pode estar ligada aos fatores que afetam a atividade biológica do solo, anteriormente citados.

A qualidade e a quantidade dos resíduos vegetais depositados no solo, as condições de uso e a aplicação de calcário e fertilizantes afetam a atividade das fosfatases (Herbien & Neal, 1990). A vegetação pode afetar a atividade das fosfatases tanto pela produção dessas enzimas pelas plantas e favorecimento da atividade microbiológica do solo, como pela deposição de resíduos vegetais, que aumentam a matéria orgânica do solo. A matéria orgânica do solo além de aumentar a atividade dos microrganismos, protege a enzima da decomposição (Harrison, 1983).

A calagem aumentou a atividade da fosfatase ácida (Tabelas 2 e 4), possivelmente pelo fato de a elevação do pH do solo ter favorecido a atividade dos microrganismos produtores dessas enzimas. Nahas et al. (1994) observaram correlação positiva e significativa entre a atividade das fosfatases ácida e alcalina e o pH do solo. A aplicação de calcário e de P diminuiu a atividade da fosfatase ácida em comparação com as amostras que receberam apenas calcário. Tal comportamento deve-se ao aumento da disponibilidade de P para as plantas e microrganismos responsáveis pela produção das fosfatases. Essas enzimas são produzidas quando os teores de P solúvel atingem níveis limitantes ao crescimento de plantas e microrganismos (Nahas et al., 1982). Desta forma, com o aumento do P disponível do solo, pela calagem e aplicação de P, não haveria necessi-

dade das fosfatases como mecanismo de aumento da disponibilidade desse nutriente para as plantas e microrganismos, exceto quando o solo apresenta elevada capacidade de adsorção do elemento, o que contribui para baixar os níveis na solução do solo e então elevar a atividade de fosfatases, como no LR.

Quanto à atividade da fosfatase alcalina, não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos estudados.

Fósforo extraído pelo Mehlich 1, Mehlich 3 e resina

Exceto no LR sob pastagem, os demais solos apresentaram baixos teores de P pelos diferentes extratores, tanto na ausência quanto na presença de calagem (Tabela 2). Independentemente das condições de uso e práticas culturais, o LR apresentou menores teores de P do que a TR. Esses menores teores são reflexo da maior capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) desse solo, que, entre outros fatores, se deve ao maior teor de ferro livre (extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio) (Tabela 1). A energia de adsorção de P nos solos mais argilosos é mais elevada, pelas próprias características do solo e alto grau de saturação dos sítios de troca aniônica. Desse modo, os extratores, como as plantas, extraem mais P nos solos arenosos do que nos argilosos (Holford & Mattingly, 1977).

Quando se aplicou fósforo, ocorreu aumento considerável dos teores de P (Tabelas 2 e 3), porém houve tendência de a calagem também aumentar os

teores de P (Tabela 3). A elevação do pH dos solos para próximo de 6,0 pelo calcário aumenta a solubilidade dos vários compostos de P do solo e causa dessorção, pela troca de ligantes (OH⁻) e queda na energia de adsorção, aumentando a atividade de fosfatos em solução (Raij, 1991).

Os extratores Mehlich 1 e Mehlich 3 extraíram, em valores médios, menores quantidades de P comparados à resina (Tabela 2), provavelmente pelo fato de os extratores ácidos extraírem preferencialmente P-Ca, ao passo que a resina extrai as formas lábeis de P, sejam elas P-Al, P-Fe ou P-Ca (Raij, 1991). O pH próximo de 2,0 dos extratores ácidos é inadequado para a solubilização de P-Al e P-Fe, e é extremamente favorável à extração de P-Ca, mesmo em formas não lábeis (Raij, 1991).

Os três extratores apresentaram correlações positivas e significativas com as formas de P inorgânico estudadas (Tabela 5), porém o extrator Mehlich 1 apresentou o maior coeficiente de correlação com o P-Fe, enquanto a resina apresentou os maiores coeficientes com o P-Al e P-Ca. Segundo Kamprath & Watson (1980), em solos ácidos a neutros o P-Al é a fonte primária de P disponível para as plantas, junto com o P-Ca quando presente. Assim, os extratores dessas formas de P fornecem uma boa estimativa do P disponível para as plantas.

As formas de P-Fe, P-Al e P-Ca correlacionaram-se positiva e significativamente com os parâmetros de planta avaliados (Tabelas 6 e 7).

TABELA 6. Coeficientes de correlação entre os parâmetros de solo e planta em Latossolo Roxo.

Parâmetros ¹	MSA	MSR	MST	CNC	CNT
P-Fe	0,57**	0,54**	0,82**	0,88*	0,76**
P-Al	0,54**	0,47**	0,77**	0,82**	0,71**
P-Ca	0,48**	0,60**	0,67**	0,67**	0,53**
P-org.	-0,50**	-0,55**	-0,43	-0,31	-0,39
P-bio	-0,27	-0,39	-0,10	-0,09	-0,06
P-M1	0,60**	0,50**	0,71**	0,75**	0,69**
P-M3	0,59**	0,55**	0,74**	0,73**	0,67**
P-Re	0,54**	0,41	0,57**	0,65**	0,61**
Acid.	-0,39	-0,51**	-0,46	-0,25	-0,32
Alc.	0,57**	0,40	0,56**	0,60**	0,65**

¹ P-Fe: P ligado a ferro; P-Al: P ligado a alumínio; P-Ca: P ligado a cálcio; P-org.: P orgânico; P-bio: P na biomassa microbiana; P-M1: Mehlich 1; P-M3: Mehlich 3; P-Re: resina; Acid.: fosfatase ácida; Alc.: fosfatase alcalina; MSA: matéria seca de parte aérea; MSR: matéria seca de raiz; MST: matéria seca total; CNC: concentração de P na parte aérea; CNT: P acumulado na parte aérea.

** e * Significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste de T.

TABELA 7. Coeficientes de correlação entre os parâmetros de solo e planta em Terra Roxa Estruturada.

Parâmetros ¹	MSA	MSR	MST	CNC	CNT
P-Fe	0,98*	0,87*	0,98*	0,94*	0,99*
P-Al	0,98*	0,86*	0,98*	0,94*	0,99*
P-Ca	0,78**	0,81**	0,80**	0,80**	0,83**
P-org.	-0,25	-0,34	-0,27	-0,42	-0,31
P-bio	0,24	0,17	0,23	-0,2	0,13
P-M1	0,95*	0,88*	0,96*	0,96*	0,99*
P-M3	0,95*	0,89*	0,95*	0,91*	0,99*
P-Re	0,99*	0,88*	0,99*	0,87**	0,98*
Acid.	-0,04	-0,09	-0,04	-0,22	-0,13
Alc.	0,87**	0,81**	0,88**	0,68**	0,81**

¹ P-Fe: P ligado a ferro; P-Al: P ligado a alumínio; P-Ca: P ligado a cálcio; P-org.: P orgânico; P-bio: P na biomassa microbiana; P-M1: Mehlich 1; P-M3: Mehlich 3; P-Re: resina; Acid.: fosfatase ácida; Alc.: fosfatase alcalina; MSA: matéria seca de parte aérea; MSR: matéria seca de raiz; MST: matéria seca total; CNC: concentração de P na parte aérea; CNT: P acumulado na parte aérea.

** e * Significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste de T.

Os extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina forneceram valores de P que, semelhantemente ao P-Fe e P-Al, apresentaram correlação positiva e significativa com os parâmetros de planta avaliados (Tabelas 6 e 7), e os maiores coeficientes de correlação da produção de matéria seca foram observados com o P extraído pelo Mehlich 3, no LR, e pela resina, na TR. Os resultados indicam que os três extratores estudados foram eficientes em prever a disponibilidade de P do solo para as plantas de feijoeiro.

A atividade da fosfatase ácida do solo não apresentou correlação significativa com nenhum dos parâmetros de planta estudados, enquanto a fosfatase alcalina correlacionou-se positiva e significativamente com todos eles.

CONCLUSÕES

1. A classe de solo é o fator que mais influencia as formas de P inorgânico, enquanto as condições de uso exercem maior influência sobre o P orgânico total, o P orgânico na biomassa microbiana e a atividade das fosfatases.

2. Os extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina são eficientes em prever a disponibilidade de fósforo para o feijoeiro.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLO, L.J.O. de; DAL BÓ, M.A.; ALVAREZ, V.; RIBEIRO, A.C. Métodos para a determinação do potencial de sulfato em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.9, n.2, p.103-106, maio/ago. 1985.
- AE, N.; ARIHARA, J.; OKADA, K.; YOSHIHARA, T.; JOHANSEN, C. Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian subcontinent. *Science*, Washington, v.248, p.477-480, 1990.
- ANDERSON, J.M.; FLANAGAN, P.W. Biological processes regulating organic matter dynamics in tropical soils. In: COLEMAN, D.; OADES, J.; UEHARA, G. (Eds.). *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu, Hawaii: NIFTAL Project, 1989. p.97-124.
- ANDERSON, T.H.; INGRAM, J.S.I. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. Wallingford: CAB International, 1992. 221p.
- BAHIA FILHO, A.F.C. Fósforo em latossolos do Estado de Minas Gerais: intensidade, capacidade tampão e quantidade de fósforo, fósforo "disponível" e crescimento vegetal. Viçosa: UFV, 1974. 69p. Tese de Mestrado.
- BRAGA, J.M. *Métodos de avaliação da fertilidade do solo: trabalhos de laboratório*. Viçosa: UFV, Imprensa universitária, 1980. 83p.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Relações entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material vegetal em solos sob vegetação de cerrado: I-trabalho de laboratório. *Revista Ceres*, Viçosa, v.19, n.102, p.124-136, abr. 1972.

- BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S.; JENKINSON, D.S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v.14, n.3, p.319-329, Mar. 1982.
- CHANG, S.C.; JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science*, Baltimore, v.84, n.1, p.133-144, 1957.
- DUXBURY, J.; SMITH, S.; DORAN, J.; JORDAN, C.; SZOTT, L.; VANCE, E. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.; OADES, J.; UEHARA, G. (Eds.). *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu, Hawaii: NIFTAL Project, 1989. p.33-68.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Manual de métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro, 1979. n.p.
- FREIRE, J.C.; RIBEIRO, M.A.V.; BAHIA, V.G.; LOPES, A.S.; AQUINO, L.H. Resposta do milho em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras-MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.4, n.1, p.5-8, jan./abr. 1980.
- GERALDES, A.P.A.; CERRI, C.C.; FEIGL, B.J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.19, n.1, p.55-60, jan./abr. 1995.
- GUERRA, J.G.M.; FONSECA, M.C.; ALMEIDA, D.L.; De-POLLI, H.; FERNANDES, M.S. Conteúdo de fósforo da biomassa microbiana de um solo cultivado com *Brachiaria decumbens* Stapf. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.30, n.4, p.543-551, abr. 1995.
- HARRISON, A.F. Relationship between intensity of phosphatase activity and physico-chemical properties in woodland soils. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v.15, n.1, p.93-99, Jan. 1983.
- HAWKES, G.E.; POWSON, D.S.; RANDALL, E.W.; TATE, K.R. A ^{31}P -nuclear magnetic resonance study of phosphorus species in soil from long continued field experiments. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.35, n.1, p.35-45, Mar. 1984.
- HERBIEN, S.A.; NEAL, J.L. Soil pH and phosphatase activity. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.21, n.5/6, p.436-456, 1990.
- HOLFORD, I.C.R.; MATTINGLY, G.E.G. Phosphate adsorption and availability of phosphate. *Plant and Soil*, The Hague, v.44, n.1/3, p.377-389, 1977.
- HSU, P.H. Aluminium oxides and oxyhydroxids. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Eds.). *Minerals in soil environments*. Madison: Soil Science Society of American, 1977. p.99-144.
- KAMPRATH, E.J. Phosphorus fixation and availability in highly weathered soils. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4., 1976, Brasília. *Bases para a utilização agropecuária*, São Paulo: EDUSP/Belo Horizonte: Itatiaia, 1977. p.333-347.
- KAMPRATH, E.J.; WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soil. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. *The role of phosphorus in agriculture*. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1980. p.433-470.
- LOPES-HERNANDES, D.; NINÔ, M. Phosphorus mineralization during laboratory incubation in soils derived from different textural parent materials. *Geoderma*, Amsterdam, v.56, n.1/4, p.527-537, Mar. 1993.
- MACHADO, M.I.C.S.; BRAUNER, J.L.; VIANNA, A.C.T. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.17, n.3, p.331-336, set./dez. 1993.
- MAGID, J. Vegetation effects on phosphorus fractions in set-aside soils. *Plant and Soil*, The Hague, v.149, n.1/2, p.11-119, Feb. 1993.
- MARQUES JUNIOR, J.; CURI, N.; LIMA, J.M. Evolução diferenciada de Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro em função da litologia gnáissica na região de Lavras (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.16, n.2, p.235-240, maio/ago. 1992.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Communication in Soil Science and Plant analysis*, New York, v.15, p.1409-1416, 1984.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, Clarkson, v.7, n.2, p.317-327, 1960.
- NAHAS, E.; CENTURION, J.F.; ASSIS, L.C. Efeito das características químicas dos solos sob os microrganismos solubilizadores de fosfatos e produtores de fosfatases. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.18, n.1, p.43-48, jan./abr. 1994.

- NAHAS, E.; TERENZI, H.F.; ROSSI, A. Effect of carbon source and pH on the production and secretion of acid phosphatase (EC. 3.1.3.2) in *Neurospora crassa*. *Journal General Microbiology*, London, v.128, n.9, p.2017-2021, Sep. 1982.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v.19, n.1, p.59-164, Jan. 1987.
- RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 170p.
- ROJO, M.J.; CARCEDO, S.G.; MATEOS, M.P. Distribution and characterization of phosphatase and organic phosphorus in soil fractions. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v.22, n.2, p.169-174, Mar. 1990.
- SAYAL, S.; De DATTA, S. Chemistry of phosphorus transformation in soil. *Advances in Soil Science*, v.16, p.2-120, 1991.
- SWENSON, R.M.; COLE, C.V.; SIELING, D.H. Fixation of phosphorus by Fe and Al and replacement by organic and inorganic ions. *Soil Science*, Baltimore, v.67, n.1, p.3-22, Jan. 1949.
- SYERS, J.K.; BROWMAN, M.G.; SAMILLE, G.W.; COREY, R.B. Phosphate sorption by soils evaluated by the Langmuir adsorption equation. *Soil Science Society of America. Proceedings*, Madison, v.37, p.358-363, 1973.
- TATE, K. The biological transformation of P in soil. *Plant and Soil*, The Hague, v.76, n.1/3, p.245-256, Jan. 1984.
- THOMAS, G.W.; PEASLEE, D.E. Testing soils for phosphorus. In: WALSH, L.W.; BEATON, J.D. (Eds.). *Soil testing and plant analysis*. Madison: SSSA, 1973. p.15-29.
- TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Science Society of America. Journal*, Madison, v.48, n.2, p.853-858, Mar./Apr. 1984.
- TRASAR CEPEDA, M.C.; GILSOTRES, F.; GUITTIAN OJEA, F. Cantidades y formas de fosforo en suelos naturales de Galia (Nw. Spain). *Anales of Edafologia y Agrobiologia*, Madrid, v.46, p.1361-1373, 1987.
- UDO, E.J.; DOMBO, V.I. Phosphorus status of the nigerian coastal plain sands. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v.93, n.2, p.281-289, Apr. 1979.
- VETTORI, L. *Métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim técnico, 7).
- WALKER, T.W.; SYERS, J.K. The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma*, Amsterdam, v.15, n.1, p.1-19, May 1976.