

SENSIBILIDADE DE EXTRATORES QUÍMICOS À CAPACIDADE TAMPÃO DE FÓSFORO ⁽¹⁾

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

RESUMO

Em amostras superficiais de oito solos, com variação em textura e mineralogia, adubadas com diferentes doses de fósforo, efetuaram-se medidas de disponibilidade desse nutriente, incluindo os fatores quantidade, capacidade tampão máxima e teores de fósforo removido pelos extratores Mehlich 1 e Bray 1. As alterações causadas pela adubação fosfatada nos teores de fósforo disponível relacionaram-se negativamente com a capacidade tampão máxima. Os extratores Mehlich 1 e Bray 1 foram sensíveis ao fator capacidade empregado.

SUMMARY: SENSITIVITY OF CHEMICAL EXTRACTANTS TO PHOSPHORUS BUFFERING CAPACITY

Phosphorus availability was determined in surface samples of latosols varying in texture and mineralogy fertilized with different amounts of phosphorus. The availability was estimated by quantity factor (P sorbed at equilibrium concentration), maximum buffering capacity and phosphorus removed by Mehlich 1 and Bray 1 extractants. Changes caused by phosphorus fertilization in available phosphorus related negatively with buffering capacity. The extractants showed sensitivity to buffering capacity.

INTRODUÇÃO

A conceituação de disponibilidade proposta por Bray (1947) envolve apenas o relacionamento, em determinado momento, entre a quantidade do nutriente e o crescimento vegetal. Normalmente, são empregadas substâncias para extrair o nutriente e, desde que haja o relacionamento citado, tem-se um extrator da forma disponível. O valor obtido é de natureza estática, não fornecendo maiores informações acerca da reposição, pela fase sólida do solo, do nutriente removido. Em contraste com o empirismo dos extratores, há

outros conceitos que objetivam descrever a dinâmica do nutriente no solo. Tais conceitos englobam os fatores intensidade, quantidade e capacidade tampão e constituem a base físico-química da disponibilidade de nutrientes adsorvidos à fase sólida do solo.

O fator intensidade é usualmente medido pela concentração de fósforo ou pela atividade de íons ortofosfato em solução, pelo potencial químico de $H_2PO_4^-$ ou pelo potencial de fosfato monocálcico (Olsen & Khasawneh, 1980).

O fator quantidade mede a reserva de fósforo no solo e é constituído pelo fósforo facil-

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

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

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

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

mente trocável com a solução (P-lábil), que é renovado, embora a baixa velocidade, pelo fósforo não-lábil. Pode ser avaliado, no caso de fósforo, por troca isotópica (valores E e L) (Gunary & Sutton, 1967; Bache & Rogers, 1970, e Holford et alii, 1974), por isotermas de adsorção (Holford & Mattingly, 1976a, e Olsen & Khasawneh, 1980), por resina trocadora de ânions (Bache & Rogers, 1970, e Elsen & Khasawneh, 1980), pelo fracionamento de formas de fósforo (Bahia Filho & Braga, 1975; Novais & Kamprath, 1978, e Olsen & Khasawneh, 1980), por extratores químicos (Bahia Filho & Braga, 1975; Mattingly, 1980, e Olsen & Khasawneh, 1980) ou pelo fósforo absorvido pelo vegetal (Vieira & Bornemisza, 1968).

A utilização de extratores tem sido baseada no conceito, anteriormente discutido, de disponibilidade de Bray (1947). Tais substâncias químicas não extraem compostos químicos definidos, como acentua Fassbender (1966), alterando ainda, durante seu uso, as características do solo.

No Brasil, o extrator Mehlich 1 (HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N) é utilizado praticamente em todos os laboratórios de análise de solo. Sua ação consiste na solubilização de fosfatos de cálcio, alumínio e ferro pelos íons hidrogênio presentes. Em solos que contêm esses três fosfatos, a ordem de remoção esperada é fosfatos de cálcio > fosfatos de alumínio > fosfatos de ferro (Thomas & Peaslee, 1973). O efeito do sulfato processa-se tanto mediante deslocamento do fósforo absorvido à superfície dos óxidos hidratados de ferro e alumínio (Kamprath & Watson, 1980) quanto pela eliminação da reabsorção do fósforo removido pelos íons hidrogênio (Nelson et alii, 1953; Thomas & Peaslee, 1973, e Kamprath & Watson, 1980).

Em solos com altos teores de óxido de ferro e de argila, os teores obtidos, normalmente, são baixos, pela exaustão do extrator (Thomas & Peaslee, 1973, e Kamprath & Watson, 1980).

Outro extrator que se tem mostrado promissor é o Bray 1 (NH₄F 0,03N + HCl 0,025N). A ação dos íons fluoreto é exercida pela precipitação de cálcio solúvel pelo flúor, extraíndo, assim, o fosfato de cálcio mais solúvel. O flúor é também específico para CaHPO₄ e fosfatos de alumínio, sendo inócuo para fosfato básico de cálcio e fosfato de ferro, a não ser que a solução seja acidificada (Thomas & Peaslee, 1973). O efeito do íon hidrogênio contido no HCl é o mesmo já discutido para o extrator Mehlich 1.

Os dois extratores (Mehlich 1 e Bray 1) são sensíveis a variações dos teores de argila (Pratt & Garber, 1964; Thomas & Peaslee, 1973, Freire et alii, 1979, e Kamprath & Watson, 1980), sendo necessária, para a utilização de seus níveis críticos, a separação dos solos por classe de textura. O efeito normalmente citado é o de exaustão do extrator por reação com a argila (Pratt & Garber, 1964; Baldovinos & Thomas, 1967, e Kamprath

& Watson, 1980), o que é definido por Holford (1980a) como sensibilidade do extrator à capacidade tampão.

A avaliação da sensibilidade dos extratores Mehlich 1 e Bray 1 à capacidade tampão em latossolos brasileiros constituiu o objetivo do presente trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras de material de solo caracterizadas do ponto de vista químico, físico e mineralógico por Bahia Filho (1980) e por Resende et alii (*). Sua identificação encontra-se em Bahia Filho et alii (1983).

Nessas amostras, procedeu-se à incubação com uma mistura de CaCO₃ e MgCO₃ na proporção de 4:1 em equivalente e em quantidade suficiente para elevar o pH a 6,5. Essa quantidade foi determinada anteriormente através de curvas de incubação. Após o período de incubação de trinta dias, procedeu-se à adubação fosfatada, utilizando como fonte NaH₂PO₄.H₂O aplicado via líquida. Para tanto, as amostras de material de solo foram espalhadas em camada fina e, a solução, distribuída gota a gota. As amostras foram homogeneizadas e colocadas em recipientes plásticos, recebendo água desmineralizada em quantidade suficiente para elevar o teor de umidade a 100% da água retida a 1/3 de bar. As quantidades de fósforo a aplicar foram calculadas a partir de equações de fósforo disponível e fósforo aplicado, de forma que fossem obtidos quatro teores de fósforo disponível em cada material de solo.

A incubação dos materiais de solo com a fonte fosfatada adicionada foi efetuada durante 22 dias; após esse período, as amostras foram secas e homogeneizadas, determinando-se os seguintes índices de disponibilidade de fósforo:

Isotermas de adsorção — O procedimento adotado para obtenção dos dados encontra-se descrito em Bahia Filho et alii (1983). Empregaram-se concentrações crescentes de fósforo na forma de KH₂PO₄ em solução CaCl₂ 0,01M, procedendo-se à agitação durante 24 horas na relação solo: solução de 1:10. Os dados obtidos foram ajustados à isoterma de Langmuir. As isotermas foram determinadas tanto nas amostras de material de solo corrigidas para pH 6,5, quanto naquelas que receberam adubação fosfatada, além do corretivo.

Intensidade — Concentração de fósforo em solução após agitação por 24 horas de 2,5g de terra fina seca ao ar (TFSA) com 25ml de CaCl₂ 0,01M.

Quantidade — Considerou-se estimativa do fator quantidade o fósforo adsorvido em equilíbrio com o fósforo em solução (Holford & Mattingly, 1976a). Para obter esse fator, empregaram-se as concentrações de equilíbrio das amostras adubadas nas isotermas de adsorção determinadas nas amostras com calagem.

Fósforo disponível — Os teores de fósforo disponível foram obtidos utilizando os extratores Mehlich 1 e Bray 1, seguindo-se respectivamente os procedimentos descritos por Bray (1947) e Vettori (1969).

Capacidade tampão máxima — Inclinação máxima da isoterma de Langmuir para uma única superfície de adsorção (Holford & Mattingly, 1976a).

Nas determinações de fósforo nos extratores, empregou-se o método do complexo fosfomolibdico usando a vitamina C como redutor modificado por Braga & Defelipo (1974).

(*) 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).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas amostras incubadas com diferentes níveis de fósforo e sem cultivo foram determinados os índices de disponibilidade, representados pela concentração de fósforo em solução de CaCl_2 0,01M (intensidade) e pelo teor de fósforo disponível pelos extratores Mehlich 1 e Bray 1 (Quadro 1). Calcularam-se ainda os valores de fósforo adsorvido (quantidade), com o emprego das

concentrações de fósforo em solução nas isotermas de adsorção (Quadro 2). Os teores de fósforo em solução nos materiais de solos TM-56, AP-C13 e TM-67, apesar de apresentarem alteração com a adubação fosfatada, foram extremamente baixos. O método analítico empregado somente é sensível a variações da ordem de $0,1\mu\text{g}$ de P/ mililitro na solução de leitura. Dessa forma, diferenças inferiores a esse valor têm pouca precisão.

Quadro 1. Fatores intensidade, quantidade de fósforo adsorvido e fósforo disponível nas amostras de material de solo, considerando a adubação fosfatada

Classe de solo	Identificação	Dose de P aplicada	Intensidade CaCl_2 0,01M	Quantidade P adsorvido	Fósforo disponível	
					Mehlich 1	Bray 1
		kg/ha	$\mu\text{g}/\text{ml} \cdot 10^2$		$\mu\text{g}/\text{g}$	
AQd	TM-5	60	2,2	2,8	15,0	23,0
		120	4,3	5,4	31,4	43,7
		240	15,5	18,5	80,5	90,3
		360	26,7	30,3	122,9	131,9
LEdm	TM-6	50	10,3	3,7	20,7	25,7
		100	21,0	7,4	35,0	38,9
		200	60,2	19,9	78,6	80,2
		300	116,8	35,7	117,6	113,7
LEdm	TM-18	70	4,1	4,7	19,5	27,4
		140	9,3	10,5	41,1	50,8
		280	35,2	35,1	95,6	103,6
		420	47,0	44,5	144,4	158,9
LEdr	TM-42	60	4,2	2,5	14,9	16,1
		120	9,8	5,8	27,1	26,1
		240	34,0	19,1	64,4	53,6
		360	75,8	38,9	99,4	88,7
LEdr	TM-14	120	1,2	2,3	5,6	12,9
		240	1,7	3,3	14,0	26,9
		360	2,5	4,8	22,2	39,8
		480	3,8	7,3	37,5	62,2
LVar	TM-56	170	0,9	10,4	2,6	8,0
		340	0,9	10,4	5,2	14,3
		510	1,3	14,9	9,3	23,3
		680	2,1	24,0	13,7	32,6
LEdr	AP-C13	52	1,2	26,5	5,4	10,3
		208	1,4	30,9	9,9	15,4
		390	1,6	35,1	14,0	22,7
		520	1,9	41,5	22,1	32,8
LVar	TM-67	160	0,7	5,1	2,6	8,0
		320	1,0	7,2	5,2	14,3
		480	1,8	11,5	9,3	23,3
		640	2,6	18,6	13,7	32,6

Quadro 2. Índices de disponibilidade de fósforo nas amostras de material de solo que receberam apenas calagem

Classe de solo	Identificação	Energia de adsorção (k)	Capacidade máxima de adsorção (x_m)	Capacidade tampão máxima
		ml/ μg	$\mu\text{g}/\text{g}$	ml/g
AQd	TM-5	0,49	262	128
LEdm	TM-6	0,16	227	36
LEdm	TM-18	0,53	223	118
LEdr	TM-42	0,25	244	61
LEdr	TM-14	0,24	813	195
LVar	TM-56	1,00	1165	1165
LEdr	AP-C13	1,79	1262	2259
LVar	TM-67	0,72	1011	728

Para efeito de comparação dos materiais de solo, ajustaram-se equações de regressão entre a concentração de fósforo em solução e as doses aplicadas de fósforo (Quadro 3). O coeficiente linear dessas regressões indica a alteração causada no teor de fósforo em solução pela adição de 1kg/ha de P. O quociente desses valores, considerando materiais de solo arenosos e argilosos, foi quase trezentas vezes. A magnitude dessa razão está associada, parcialmente, no entanto, ao fato, já mencionado, de falta de sensibilidade do método de determinação empregado, o que reduziu os valores do coeficiente da regressão nos materiais TM-56, AP-C13 e TM-67. Por outro lado, em solos de elevada capacidade tampão, esperam-se menores teores de fósforo em solução. Esse comportamento já foi verificado por Olsen & Watanabe (1970), quando estudaram o suprimento de fósforo por difusão em solos com diferentes texturas, e por Holford & Mattingly (1976b), ao relacionarem a capacidade tampão com a adsorção de fósforo pelo vegetal. A maior concentração de fósforo em solução em solos arenosos está normalmente associada a baixos valores de capacidade tampão (Kamprath & Watson, 1980). Para a mesma quantidade de fósforo adsorvida pelo vegetal, haveria, propor-

cionalmente, maior redução da concentração de fósforo em solução no solo arenoso do que no argiloso.

Os dados constantes no Quadro 2 evidenciam ainda que nos materiais de solo TM-5, TM-6, TM-18, TM-42 e TM-14 os valores dos parâmetros quantidade (P adsorvido) e fósforo removido pelos extratores Mehlich 1 e Bray 1 são bastante superiores aos valores obtidos nas demais amostras. O fator quantidade reflete o fósforo adsorvido na fase sólida em equilíbrio com o fósforo em solução. Dessa forma, constitui a fonte para reposição da solução quando ocorre absorção pelo vegetal. Nos cinco primeiros materiais, a remoção do fósforo da fase sólida é facilitada tendo em vista os valores de energia de adsorção. Essa facilidade de remoção é expressa pela capacidade tampão (Quadro 1). Considerando-se somente o mecanismo de deslocamento ou complexação do fósforo adsorvido, a maior atuação dos extratores seria verificada nos materiais de solo com menor capacidade tampão.

À semelhança dos dados de fósforo em solução de CaCl_2 0,01M, ajustaram-se equações de regressão entre o teor de fósforo disponível, obtido pelos extratores Mehlich 1 e Bray 1, e as doses de fósforo aplicadas (Quadro 4).

Quadro 3. Coeficientes das equações de regressão ajustadas entre teor de fósforo em solução (Y), em $\mu\text{g/ml}$, e fósforo aplicado (X), em kg/ha, nas amostras de material de solo com calagem

Classe de solo	Identificação	Coeficientes de regressão		Coeficiente de determinação (R^2)
		Interseção	Linear	
AQd	TM-5	-0,043	$8,44.10^{-4}$	0,987**
LEdm	TM-6	-0,178	$4,30.10^{-3}$	0,978*
LEdm	TM-18	-0,058	$1,31.10^{-3}$	0,973*
LEdr	TM-42	-0,158	$2,40.10^{-3}$	0,959*
LEdr	TM-14	0,002	$7,17.10^{-5}$	0,958*
LVar	TM-56	0,003	$2,35.10^{-5}$	0,833ns
LEdr	AP-C13	0,011	$1,44.10^{-5}$	0,974*
LVar	TM-67	-0,001	$3,94.10^{-5}$	0,942*

ns: Não significativo; * Excede o nível de 5%; ** Excede o nível de 1%.

Quadro 4. Coeficientes das equações de regressão ajustadas entre teor de fósforo disponível (Y), em $\mu\text{g/g}$, obtido pelos extratores Mehlich 1 e Bray 1, fósforo aplicado (X), em kg/ha, nas amostras de material de solo com calagem

solo Classe de	ficação Identifi-	Coeficientes de regressão (Mehlich 1)		Coeficiente de determinação (R^2)	Coeficientes de regressão (Bray 1)		Coeficiente de determinação (R^2)
		Interseção	Linear		Interseção	Linear	
AQd	TM-5	-9,24	0,3676	0,997**	0,82	0,3662	0,999**
LEdm	TM-6	-1,37	0,3960	0,997**	5,93	0,3612	0,996**
LEdm	TM-18	3,52	0,2819	0,959*	-0,65	0,3773	0,999**
LEdr	TM-42	-4,57	0,2873	0,997**	-1,31	0,2432	0,991**
LEdr	TM-14	-6,15	0,0866	0,974*	-4,75	0,1340	0,982**
LVar	TM-56	-1,65	0,0220	0,988**	-1,15	0,0487	0,993**
LEdr	AP-C13	2,99	0,0337	0,950*	6,64	0,0467	0,963*
LVar	TM-67	-1,65	0,0234	0,988**	-1,15	0,0518	0,993**

* Excede o nível de 5%; ** Excede o nível de 1%.

Os coeficientes da componente linear mostraram variações entre materiais de solo, relacionadas com a superfície adsorvente (Quadro 5). Assim, esse índice está associado à capacidade tampão máxima, principalmente pela componente adsorção máxima, e não é sensível a variações de energia e retenção.

A adição de fósforo, por outro lado, provocou modificações nos teores de fósforo disponível, pelos extratores empregados, na razão inversa do conteúdo de argila. Esse efeito é atribuído, por alguns autores, à exaustão do extrator pela argila (Pratt & Garber, 1964; Baldovinos & Thomas, 1967; Thomas & Peaslee, 1973, e Kamprath & Watson, 1980) e constitui a razão principal da separação de níveis críticos de fósforo por classe textural.

Comparando os coeficientes das regressões, para os dois extratores (Quadro 4), verifica-se, no entanto, que houve tendência de maior extração por unidade de fósforo aplicada para o Bray 1, principalmente nos materiais de solo com maior teor de argila. Essa tendência está associada possivelmente ao efeito complexante do flúor contido nesse extrator sobre ferro e alumínio, em meio ácido (Thomas & Peaslee, 1973), manifestado, com maior expressão, nos materiais de solo que contêm gibbsita e/ou goethita em quanti-

dades apreciáveis (Resende et alii *). A relação entre os teores obtidos pelos extratores Mehlich 1 (Y) e Bray 1 (X) pode ser expressa pela equação:

$$Y = -6,22 + 0,94 X, \text{ com } R^2 = 0,933 **.$$

As correlações entre os parâmetros de água no solo, além do significado relativo à adsorção, indicam a possibilidade do uso dessas medidas para estimar o aumento do fósforo disponível conforme a adubação. Trabalhos de Freire et alii (1979) e Novais & Kamprath (1979) também confirmam essa possibilidade.

Com os dados obtidos (Quadros 1 e 2), procurou-se estabelecer as relações entre fósforo disponível, pelos extratores Mehlich 1 e Bray 1, e os fatores quantidade (fósforo adsorvido) e capacidade tampão. Não foram utilizados os valores de intensidade (fósforo em CaCl₂ 0,01M), uma vez que há relação entre esse fator e o parâmetro quantidade. Essa relação, embora de natureza não-linear, decorre do fato de que o fator quantidade foi calculado a partir dos dados de fósforo em solução de CaCl₂ 0,01M, aplicados a isoterms de adsorção.

Os teores obtidos pelos dois extratores químicos estão relacionados com o fator quantidade empregada, que explicou cerca de 36% da variação observada nesses teores (Quadro 6). A inclusão do fator capacidade ocasionou, nos dois casos, aumentos substanciais no poder preditivo do modelo empregado.

Para os dois extratores, os coeficientes do fator quantidade indicaram que houve maior remoção de fósforo que o representado pelo fósforo adsorvido. Esse efeito foi evidenciado principalmente nos materiais de solo de menor capacidade tampão (Quadro 2). Há duas hipóteses, pelo menos para explicar a ocorrência desse fato: reposição do fósforo lábil extraído, ou remoção, além do fósforo lábil, de parte do fósforo não-lábil. A primeira seria mais adequada quando aplicada

Quadro 5. Coeficientes de correlação linear simples (r) entre o coeficiente P recuperado/P aplicado e diferentes parâmetros do solo

Parâmetros	P recuperação/P aplicado	
	Mehlich 1	Bray 1
P recuperado/P aplicado (Bray 1)	0,961**	—
Capacidade tampão máxima	-0,710*	-0,735*
Adsorção máxima (x _m)	-0,951**	-0,953**
Energia de adsorção (k)	-0,632ns	-0,632ns
Conteúdo de argila	-0,946**	-0,972**
Equivalente de umidade	-0,946**	-0,982**
Água retida a -1/3 bar	-0,941**	-0,977**
P em solução (40µg/ml) (1)	0,857**	0,928**

(1) Quantidade de fósforo em solução após agitação do material de solo com 40µg de P/ml durante 24 horas. ns: Não significativo. * Excede o nível de 5%. ** Excede o nível de 1%.

(*) 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 6. Equações de regressão ajustadas entre teor de fósforo, obtido pelos extratores Mehlich 1 e Bray 1, fósforo adsorvido (Q) e capacidade tampão máxima (C)

Variável dependente (1)	Equação	Coeficiente de determinação (R ²) devido a:	
		Modelo completo	Variável introduzida
Mehlich 1	Y = 8,03 + 1,70 Q	0,356**	
	Y = 17,55 + 2,56 Q - 0,0410 C	0,915**	0,559**
Bray 1	Y = 15,88 + 1,75 Q	0,363**	
	Y = 25,25 + 2,60 Q - 0,0403 C	0,878**	0,515**

(1) Teor de fósforo obtido pelo extrator químico. ** Excede o nível de 1%.

ao relacionamento entre o fator quantidade e a absorção de fósforo pelo vegetal. A hipótese alternativa parece ser mais correta no caso presente, tendo em vista o modo de ação dos extratores químicos, que inclui, além do deslocamento do fósforo adsorvido, a dissolução de fosfatos pelo ácido presente. O efeito redutor da capacidade tampão sobre os teores de fósforo disponível mostra que os extratores químicos utilizados são sensíveis a esse fator, segundo o modelo de Holford & Mattingly (1979) e Holford (1980a, b). Para Holford & Mattingly (1979), um extrator químico deve simular o sistema radicular da planta, extraíndo uma quantidade de fosfato que se relaciona diretamente com o fósforo lábil e, inversamente, com a capacidade tampão. Os extratores utilizados preenchem essa condição, e Holford (1980a, b) já havia estabelecido a sensibilidade do extrator Bray 1 à capacidade tampão. O extrator Mehlich foi, no entanto, considerado por Holford (1980a) insensível a essa característica. A sensibilidade verificada pode estar relacionada com a exaustão dos extratores químicos pela goethita, principal responsável pelas variações observadas na capacidade tampão (Bahia Filho et alii, 1983). Nesse caso, é possível que tenha ocorrido o envolvimento dos seguintes mecanismos, que reduziram o poder de remoção dos extratores: protonação do grupamento FeOH, resultando em FeOH⁺, que pode adsorver ânions SO₄²⁻, F⁻, ou mesmo reabsorver o fósforo extraído; ocorrência dessa mesma adsorção aniônica na superfície de grupamentos FeOH e FeOH⁺, naturalmente existentes no solo; consumo dos íons F⁻ pela complexação de ferro em superfície onde não há fósforo adsorvido. Os mecanismos mencionados também devem ser eficientes quando se consideram grupamentos AlOH ou AlOH₂⁺.

Independentemente da natureza da fração argila, mas importante na exaustão, deve ser o pH da amostra de solo analisada. Nesse caso, há principalmente consumo de íons H⁺, que reduzem a ação de dissolução de compostos de fósforo pelo extrator. Teoricamente, entre os dois extratores testados, o Mehlich 1, por ser constituído de mistura de dois ácidos com pH de 1,2 (Thomas & Peaslee, 1973), deveria ser o mais atingido. Seu menor poder de extração, em relação ao Bray 1, pode estar parcialmente associado a esse fator, considerando que os materiais de solo tiveram seu pH corrigido para 6,5.

A sensibilidade do extrator pode também ser alterado pela variação da relação solo: extrator e tempo de agitação (Holford, 1980b). O comportamento esperado é que a sensibilidade varie inversamente aos aumentos na relação mencionada e no tempo de agitação.

As correlações entre os teores de fósforo disponível obtidas por diferentes extratores têm sido atribuídas à extração preferencial de determinada forma de fósforo, associada à maior atividade da forma preferencialmente extraída (Ba-

hia Filho & Braga, 1975, e Kamprath & Watson, 1980). Entretanto, Holford (1980b) considera que, quanto mais similares foram dois extratores na sua sensibilidade ao tamponamento, maior será a correlação entre ambos. De acordo com esse enfoque, os extratores Mehlich 1 e Bray 1, pelos resultados obtidos, teriam sensibilidade semelhante, justificando a estreita correlação existente entre si ($r = 0,966^{**}$). A extração preferencial e a atividade da forma estariam, contudo, associadas à extração do fósforo lábil, que seria influenciada negativamente pela capacidade tampão.

LITERATURA CITADA

- BACHE, B. W. & ROGERS, H. E. Soil phosphate values in relation to phosphate supply to plants from some Nigerian soils. *J. Agric. Sci.*, 74:383-390, 1970.
- BAHIA FILHO, A. F. C. Índices de disponibilidade de fósforo em latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas. Tese de Doutorado. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1980. 179 f. Mimeo.
- BAHIA FILHO, A. F. C. & BRAGA, J. M. Fósforo em latossolos do Estado de Minas Gerais. II. Quantidade de fósforo e fósforo "disponível". *R. Ceres*, 22:50-61, 1975.
- BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A. C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de latossolos do Planalto Central. *R. bras. Ci. Solo.*, 7:221-226, 1983.
- BALDOVINOS, F. & THOMAS, G. H. The effect of soil clay content on phosphorus uptake. *Proc. Soil Sci. Am.*, 31:680-682, 1967.
- BRAGA, J. M. & DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. *R. Ceres*, 21:73-85, 1974.
- BRAY, R. H. Correlation of soils tests with crop response to added fertilizers and with fertilizer requirements. In: KITCHEN, H. B., ed. *Diagnostic techniques for soils and crops*. Washington, American Potash Institute, 1947. p. 53-85.
- FASSBENDER, H. W. Descripción físico-química del sistema fertilizante fosfatado-suelo-planta. *Turrialba*, 16:237-246, 1966.
- FREIRE, F. M.; NOVAIS, R. F.; BRAGA, J. M.; FRANÇA, G. E.; SANTOS, H. L.; SANTOS, P. R. R. S. Adubação fosfatada para a cultura de soja (*Glycine max* (L), Merrill) baseada no fósforo disponível e no fator "capacidade". *R. bras. Ci. Solo.*, 3:105-111, 1979.
- GUNARY, D. & SUTTON, G. D. Soil factors affecting plant uptake of phosphate. *J. Soil. Sci.*, 18:167-173, 1967.
- HOLFORD, I. C. R. Greenhouse evaluation of four phosphorus soil test in relation to phosphate buffering and labile phosphate in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:555-559, 1980a.
- HOLFORD, I. C. R. Effects of phosphate buffer capacity on critical levels and relationships between soil tests and labile phosphate in wheat-growing soils. *Aust. J. Soil Res.*, 18:405-414, 1980b.

- HOLFORD, I. C. R. & MATTINGLY, G. E. G. A model for the behaviour of labile phosphate in soil. *Pl. Soil*, 44:219-229, 1976a.
- HOLFORD, I. C. R. & MATTINGLY, G. E. G. Phosphate adsorption and plant availability of phosphate. *Pl. Soil*, 44:377-389, 1976b.
- HOLFORD, I. C. R. & MATTINGLY, G. E. G. Effects of phosphate buffering on the extraction of labile phosphate by plants and by soil tests. *Aust. J. Soil Res.*, 17:511-514, 1979.
- HOLFORD, I. C. R.; WEDDERBURN, R. W. M.; MATTINGLY, G. E. G. A Langmuir two-surface equation as a model for phosphate adsorption by soils. *J. Soil Sci.*, 25:242-255, 1974.
- KAMPRATH, E. J. & WATSON, M. E. Conventional soils and tissue tests for assessing the phosphorus status of 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. 433-469.
- MATTINGLY, G. E. G. The reliability of soil phosphorus analysis in relation to fertilizer recommendations. *Chem. Ind.*, 6:690-693, 1980.
- NELSON, W. L.; MEHLICH, A.; WINTERS, E. The development, evaluation and use of soil tests for phosphorus availability. In: PIERRE, W. H. & NORMAN, A. G., ed. *Soil and fertilizer phosphorus*. New York, Academic Press, 1953. p. 153-158.
- NOVAIS, R. F. & KAMPRATH, E. J. Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:934-935, 1978.
- NOVAIS, R. F. & KAMPRATH, E. J. Fósforo recuperado em três extratores químicos como função do fósforo aplicado no solo e do "fator capacidade". *R. bras. Ci. Solo*, 3:41-46, 1979.
- OLSEN, S. R. & KHASAWNEH, F. E. Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus 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. 361-410.
- OLSEN, S. R. & WATANABE, F. S. Diffusive supply of phosphorus in relation to soil textural variations. *Soil Sci.*, 110:318-327, 1970.
- PRATT, P. F. & GARBER, M. J. Correlations of phosphorus availability by chemical tests with inorganic phosphorus fractions. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 28: 23-26, 1964.
- THOMAS, G. W. & PEASLEE, D. E. Testing soils for phosphorus. In: WALSH, L. M. & BEATON, J. D., ed. *Soil testing and plant analysis*. Madison, Soil Science Society of America, 1973. p. 115-129.
- VETTORI, L. *Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, EPE, 1969. 24p. (B. Téc., 7)
- VIEIRA, L. S. & BORNEMISZA, E. Categorías de fósforo en los principales grandes grupos de suelos en la Amazonia de Brasil. *Turrialba*, 18:242-248, 1968.