

FÓSFORO EM SOLOS REPRESENTATIVOS DO ESTADO DA PARAÍBA. II - DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO PARA PLANTAS DE MILHO⁽¹⁾

Daise Ribeiro de Farias⁽²⁾, Fábio Henrique Tavares de Oliveira⁽³⁾,
Djail Santos⁽⁴⁾, Jandeilson Alves de Arruda⁽⁵⁾, Ricardo Bezerra
Hoffmann⁽⁵⁾ & Roberto Ferreira Novais⁽⁶⁾

RESUMO

Os laboratórios de fertilidade do solo do Estado da Paraíba utilizam apenas o extrator Mehlich-1 para avaliar o teor de P disponível, independente do grau de intemperismo do solo. Como os solos pouco intemperizados representam a maioria dos solos do Estado, é necessário avaliar a eficiência do Mehlich-1 e de outros extratores usados para avaliação da disponibilidade de P para as plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência dos extratores Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3), Bray-1 (B-1) e resina de troca iônica mista (RTI) na quantificação do P disponível para plantas de milho em solos do Estado da Paraíba. Amostras de 12 solos representativos do Estado da Paraíba foram coletadas na camada de 0-30 cm de profundidade, sendo seis solos mais intemperizados e seis solos menos intemperizados, com ampla variação de características físicas e químicas. Para os solos PA, PVe, LA, RL, TX, SX e RY, aplicaram-se as doses 0; 43,75; 87,5; 175 e 350 mg dm⁻³ de P. Para os solos PAC e RR, aplicaram-se as doses 0; 37,5; 75; 150 e 300 mg dm⁻³ de P. Para os solos PVA, PVd e VX, as doses de P foram 0; 51,25; 102,5; 205 e 410 mg dm⁻³ de P. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e as doses de P aplicadas foram homogêneas em 100 % do volume de solo de cada vaso (3 dm³). Foi cultivado milho por um período de 35 dias e foram determinados os níveis críticos de P no solo pelos extratores e o nível crítico de P na planta.

⁽¹⁾ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Trabalho financiado pelo CNPq. Recebido para publicação em abril de 2008 e aprovado em março de 2009.

⁽²⁾ Professora Substituta do Departamento de Química do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB. CEP 58109-753 Campina Grande (PB). E-mail: daise_cca@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. CEP 59625-900 Mossoró (RN). E-mail: fabio@ufersa.edu.br

⁽⁴⁾ Professor adjunto do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba – UFPB. CEP 58.397-000 Areia (PB). E-mail: santosdj@cca.ufpb.br

⁽⁵⁾ Pós-Graduando do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG). E-mail: jandeilson_agro@yahoo.com.br; ricardobhs@hotmail.com

⁽⁶⁾ Professor Titular do Departamento de Solos, UFV. E-mail: rfnovais@ufv.br

Independente da dose de P aplicada, o extrator M-3 foi o que extraiu mais P dos solos e o B-1 o que extraiu menos. Quando se aplicaram pequenas doses de P aos solos, o M-1 e a RTI extraíram quantidades semelhantes de P, mas, nas maiores doses, a RTI extraiu mais P que o M-1. Ao contrário do que foi verificado para a planta e para a RTI, para os extratores M-1, M-3 e B-1 a taxa de recuperação do P aplicado ao solo correlacionou-se com o fator capacidade de fósforo (FCP). Por outro lado, os níveis críticos de P no solo pelos extratores M-1, M-3 e B-1 e os níveis críticos de P na planta não se correlacionaram com características do solo relacionadas com o FCP, diferentemente do que foi verificado para os níveis críticos de P no solo pela RTI. Em casa de vegetação, qualquer um dos extratores avaliados mostrou-se eficiente para avaliação da disponibilidade de P para plantas de milho em solos representativos do Estado da Paraíba, uma vez que o P extraído por esses extratores apresentou boa correlação com o P acumulado na planta.

Termos de indexação: extratores, análise de solo, fator capacidade de fósforo.

SUMMARY: *PHOSPHORUS IN REPRESENTATIVE SOILS OF THE STATE OF PARAÍBA. II – PHOSPHORUS AVAILABILITY FOR CORN PLANTS*

The soil fertility laboratories of the State of Paraíba use only Mehlich-1 as extractant to evaluate soil available P, independently of the soil weathering degree. Since most soils of the state are less weathered than elsewhere in Brazil, the efficiency of Mehlich-1 and of other extractors to evaluate the plant P availability must be tested. The objective of this study was to evaluate the efficiency of Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3), Bray-1 (B-1) and mixed ion exchange resin (RTI) as extractants for the quantification of available P for corn plants in soils of the state of Paraíba. Samples of 12 representative soils of the state were collected in the 0–30 cm layer (six with higher and six with lower weathering degree), with a wide variation of physical and chemical properties. Rates of 0; 43.75; 87.5; 175 and 350 mg dm⁻³ P were applied to the soils PA, PVe, LA, RL, TX, SX and RY. To the soils PAC and RR rates of 0; 37.5; 75; 150 and 300 mg dm⁻³ P were applied. For the soils PVA, PVd and VX the P rates were 0; 51.25; 102.5; 205 and 410 mg dm⁻³. The experiment was carried out in a greenhouse and the applied P rates were homogenized in 100 % of the soil volume of each pot (3 dm³). Corn plants were cultivated for 30 days and the critical P levels in the soil were determined by the extractors as well as the critical P level in the plant. Regardless of the applied P dose, M-3 extracted the most P from the soils while B-1 extracted the least. At low P doses, M-1 and RTI extracted similar P quantities, but at higher doses RTI extracted more P than M-1. Opposite to what was verified for the plant and for RTI, for the extractants M-1, M-3 and B-1 the P recovery rate was correlated with FCP. On the other hand, the critical P levels in the soil by the extractants M-1, M-3 and B-1 and the critical P levels in the plant were not correlated with soil properties that determine FCP. An opposite pattern was observed for the critical P levels in the soil by RTI. Since there was a good correlation between P extracted by the several extractants and plant P uptake, any of the evaluated extractants may be used to determine the plant P availability in representative soils Paraíba State.

Index terms: extractants, soil analysis, phosphorus capacity factor.

INTRODUÇÃO

A análise química de um solo é a principal ferramenta para obtenção de informações sobre sua fertilidade, e a determinação do teor de P disponível uma das principais análises utilizadas para a recomendação de adubação fosfatada. A avaliação da disponibilidade de P em um solo é complexa, porque esta é resultante da ação integrada dos fatores Intensidade (I), Quantidade (Q) e Capacidade Tampão

(FCP). O valor I refere-se à concentração do nutriente na solução do solo, o Q à quantidade do nutriente que está adsorvida e, ou, precipitada, mas em equilíbrio com I, e o FCP é a medida da resistência que tem o solo para deixar variar o valor de I (Alvarez V., 1996). Os teores de P disponível do solo nas análises químicas feitas nos laboratórios de rotina do Brasil dão uma idéia apenas do valor Q, de modo que, para a correta interpretação da disponibilidade de P, é necessário o conhecimento do FCP do solo, estimado a partir de

características do solo que se correlacionam com esta propriedade, como teor de argila e P remanescente, principalmente quando se usam extratores sensíveis ao FCP, como o Mehlich-1 (Novais & Smyth, 1999; Oliveira et al., 2000).

A disponibilidade de P do solo normalmente tem sido avaliada pelo uso de extratores químicos e pela resina de troca iônica (Fixen & Grove, 1990). Para que um extrator de P seja considerado adequado, é necessário que o teor de P por esse extrator correlacione-se com o conteúdo de P na planta (Alvarez V., 1996). No Brasil, os extratores mais utilizados são o Mehlich-1 e a resina de troca iônica, sendo apenas o primeiro sensível ao FCP (Gjorup et al., 1993; Silva & Raij, 1996; Novais & Smyth, 1999; Oliveira et al., 2000).

Os extratores ácidos apresentam grande vantagem para uso em rotina, principalmente pela facilidade na obtenção de extratos límpidos por decantação, dispensando a filtragem das suspensões de solos (Raij et al., 1984) e pelo baixo custo de análise (Rossi & Fagundes, 1998). Esses extratores não funcionam da mesma maneira nos diferentes tipos de solos, apresentando diferentes capacidades de dissolver e solubilizar P dos compostos fosfatados (González et al., 2000). O extrator Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$) tem sua ação baseada na solubilização de fosfatos de Ca, e dessorção de P dos fosfatos de Fe e de Al (Silva & Raij, 1999) pelos íons H^+ (pH 1,2) e SO_4^{2-} (Bahia Filho et al., 1983; Miola et al., 1999). Em solos que contêm essas três formas de P (P-Al, P-Fe e P-Ca), esse extrator dissolve predominantemente o P ligado a Ca e teores menores de P ligado a Fe e a Al (Kamprath & Watson, 1980; Raij, 1991; Silva & Raij, 1999; Novais & Smyth, 1999; Moreira & Malavolta, 2001). Esse extrator tem recebido críticas, principalmente por sua capacidade de extrair excessivamente o P-Ca em solos menos intemperizados ou em solos mais intemperizados (pobres em P-Ca) que receberam aplicações recentes de fosfatos naturais (Kaminski & Peruzzo, 1997), bem como pela baixa extração de P em solos argilosos, de modo especial naqueles com pH mais elevado e com alto FCP, em razão de seu poder de extração ser exaurido pelo próprio solo (Bahia Filho et al., 1983; Novais & Smyth, 1999).

O Mehlich-3 ($\text{NH}_4\text{F } 0,015 \text{ mol L}^{-1} + \text{CH}_3\text{COOH } 0,2 \text{ mol L}^{-1} + \text{NH}_4\text{NO}_3 \text{ } 0,25 \text{ mol L}^{-1} + \text{HNO}_3 \text{ } 0,013 \text{ mol L}^{-1} + \text{EDTA } 0,001 \text{ mol L}^{-1}$) tem sua ação baseada na presença do íon F^- e no pH ácido. O F^- atua eficientemente na formação de um complexo muito estável com o Al^{3+} , liberando, assim, o P ligado a este cátion. O P como fosfato de Ca também é extraído pela precipitação de CaF_2 . O EDTA do extrator Mehlich-3 tem a função de complexar os micronutrientes, melhorando o seu potencial de extração. O Bray-1 ($\text{HCl } 0,025 \text{ mol L}^{-1} + \text{NH}_4\text{F } 0,03 \text{ mol L}^{-1}$) tem no F^- sua principal característica de extração do P disponível do solo, com maior eficiência quanto à extração do P ligado ao Al, como já discutido.

O processo de extração da resina de troca iônica mista, conforme utilizada atualmente no Brasil (Raij et al., 2001), tem com princípio a remoção contínua do P da solução pela troca com o bicarbonato da resina, criando um gradiente de concentração que força a dessorção do P da superfície dos colóides e a dissolução do P de precipitados, até que seja alcançado um equilíbrio eletroquímico entre o solo ou precipitado e a resina (Skogley & Dobermann, 1996).

Alguns trabalhos mostram que os extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e resina foram igualmente eficientes na avaliação do P disponível do solo (Rossi et al., 1999; Moreira & Malavolta, 2001; Santos & Kliemann, 2005). Avaliando a eficiência dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e resina em dois Latossolos de Mato Grosso do Sul, Silva et al. (1999) concluíram que o método da resina, independentemente do tipo de solo e da fonte de P utilizada, mostrou-se mais adequado para estimar o P disponível do solo. Em revisão envolvendo 72 trabalhos, Silva & Raij (1999) compararam vários métodos de extração de P e, com base no coeficiente de determinação (R^2) da regressão entre o P extraído do solo pela resina e o P acumulado na planta, concluíram que a resina superou os demais métodos. O extrator Mehlich-1 foi superior à resina em trabalhos realizados por Pavan & Chaves (1996) e Santos & Kliemann (2005). Em outros trabalhos, o extrator Mehlich-3 tem ocupado posição de destaque em relação ao Bray-1, mostrando-se mais adequado em prever a disponibilidade de P para as plantas (Tran et al., 1990; Brasil & Muraoka, 1997).

Os quatro laboratórios de análises de solos do Estado da Paraíba utilizam unicamente o extrator Mehlich-1 para avaliar a disponibilidade de P do solo, independentemente do tipo de solo (PAQLF, 2006). Na Paraíba, ocorrem desde solos jovens, como os Neossolos Litólicos, até solos bastante intemperizados, como os Latossolos. As principais classes de solos que ocorrem no Estado da Paraíba (Brasil, 1972) são os Neossolos Litólicos (40,2 %), Luvisolos (23,2 %), Argissolos (13,3 %), Planossolos (6,4 %), Neossolos Regolíticos (3,2 %), Vertissolos (3,2 %), Espodosolos (1,8 %), Neossolos Quartzarênicos (1,1 %) e Latossolos (1,0 %). No Estado da Paraíba, a grande ocorrência de solos menos intemperizados com valores elevados de pH e ricos em Ca deve favorecer a formação de compostos pouco solúveis de fosfato de cálcio (P-Ca) quando se adiciona P a esses solos e, conseqüentemente, diminuir a eficiência do extrator Mehlich-1, já que a planta praticamente não absorve P-Ca (Novais & Smyth, 1999).

Estudos de fracionamento do P inorgânico do solo têm demonstrado que o P acumulado na planta se correlaciona principalmente com as frações P-Al e P-Fe e praticamente não se correlaciona ou apresenta correlação muito baixa com a fração P-Ca (Novais & Kamprath, 1978; Novais & Smyth, 1999). O extrator Mehlich-1 geralmente superestima o P disponível em solos menos intemperizados e, ou, com pH mais

elevado, e em solos que receberam aplicação de fosfatos naturais pouco reativos, dada a maior ocorrência de P-Ca nesses solos. Por outro lado, extratores com baixa capacidade de extração de P-Ca, como a resina de troca iônica, o Bray-1 e o Mehlich-3, deverão ser mais adequados que o Mehlich-1 (Bahia Filho et al., 1983; Novelino et al., 1985; Novais & Smyth, 1999; Oliveira et al., 2000) em solos menos intemperizados do semiárido do Estado da Paraíba. Considerando que os laboratórios de fertilidade do solo do Estado da Paraíba só utilizam o Mehlich-1 e que os solos pouco intemperizados representam a maioria dos solos do Estado, é necessário avaliar a eficiência do Mehlich-1 e de outros extratores usados para quantificação do P disponível para as plantas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e resina de troca iônica mista na quantificação do P disponível para plantas de milho em solos representativos do Estado da Paraíba.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na casa de vegetação do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias da UFPB, utilizando-se amostras dos 12 solos que compõem o Banco de Solos Representativos do Estado da Paraíba (Oliveira et al., 2006). Esses solos apresentam diferentes características físicas, químicas e mineralógicas, com teores de argila variando entre 90 e 380 g kg⁻¹ dentro do grupo dos seis solos mais intemperizados, e entre 30 e 430 g kg⁻¹ dentro do grupo dos seis solos menos intemperizados, amostrados na camada de 0 a 30 cm de profundidade (Quadro 1). Após a coleta, as amostras de solos foram secas ao ar e passadas em peneira de 4 mm, para o experimento em vasos, e em peneira de 2 mm para as análises químicas e físicas.

A necessidade de calagem dos solos foi calculada pelos métodos da neutralização do Al³⁺ e elevação dos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ e pelo método da saturação por bases (Alvarez V. & Ribeiro, 1999), mas, para a calagem, levou-se em consideração a média aritmética dos valores de necessidade de calagem estimados por esses dois métodos. Apenas os solos PA, PAC, PVA e PVd receberam calagem, aplicando-se uma mistura de CaCO₃ (p.a.) e de MgCO₃ (p.a.) numa relação molar 4:1 e incubaram-se os solos por duas semanas com uma quantidade de água correspondente a 50 % da porosidade total de cada solo. Após essas duas semanas de incubação, os solos PA, PAC, PVA e PVd apresentaram, respectivamente, teores de Ca²⁺ de 11,2; 19,6; 16,6; e 21,7 mmol_c dm⁻³ e pH de 7,0; 5,6; 6,1 e 5,4. Em seguida, os 12 solos receberam, cada um, cinco doses de P aplicadas e homogeneizadas em 100 % do volume de solo de cada vaso (3 dm³), obedecendo aos níveis 0; 1; 2; 4 e 8. O nível 8 correspondeu à dose máxima de P recomendada por Alvarez V. et al. (2000),

de acordo com o P remanescente (P-rem). Para os solos PA, PVe, LA, RL, TX, SX e RY, aplicaram-se as doses 0; 43,75; 87,5; 175; e 350 mg dm⁻³ de P. Para os solos PAC e RR, aplicaram-se as doses 0; 37,5; 75; 150; e 300 mg dm⁻³ de P. Para os solos PVA, PVd e VX, as doses de P foram 0; 51,25; 102,5; 205; e 410 mg dm⁻³ de P. Como fonte de P, foi utilizado, em solução, KH₂PO₄ p.a. Após a aplicação das doses de P ao solo de cada vaso, seguiu-se um período de incubação por três semanas, adicionando-se água destilada em quantidade correspondente a 50 % da porosidade total de cada solo.

Após esse período de incubação, os solos foram retirados dos vasos, secos ao ar, destorroados, passados em peneira de 4 mm de malha e devolvidos aos vasos. Subamostras de 0,2 dm³ de solo de cada vaso foram retiradas para determinação dos teores de P disponíveis pelos extratores Mehlich-1 (Embrapa, 1997), Mehlich-3 (Mehlich, 1984), Bray-1 (Bray & Kurtz, 1945) e resina de troca iônica mista saturada com bicarbonato de sódio (Raij et al., 2001). Os extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1 foram utilizados na relação solo:solução (v/v) de 1:10 e tempo de agitação de 5 min.

O experimento foi montado no delineamento de blocos casualizados com 60 tratamentos (12 solos x cinco doses de P) e três repetições, totalizando 180 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída de um vaso plástico sem dreno, contendo 2,8 dm³ de solo e duas plantas de milho.

A parte restante do solo de cada vaso (2,8 dm³) foi adubada com 50 mg dm⁻³ de N ((NH₄)₂SO₄), 80 mg dm⁻³ de S ((NH₄)₂SO₄), 0,5 mg dm⁻³ de B (H₃BO₃), 1,5 mg dm⁻³ de Cu (CuSO₄.5H₂O), 5 mg dm⁻³ de Fe (FeCl₃.6H₂O dissolvido em solução diluída de EDTA), 4 mg dm⁻³ de Mn (MnCl₂.4H₂O), 4 mg dm⁻³ de Zn (ZnSO₄.7H₂O) e 0,15 mg dm⁻³ de Mo ((NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O). Para K, aplicou-se uma dose de KCl de modo que os solos de cada vaso apresentassem teor mínimo de 200 mg dm⁻³ de K.

Após a adubação, os solos foram umedecidos novamente com água destilada na quantidade correspondente a 50 % da porosidade total de cada solo, e depois foi feita a semeadura do milho híbrido cultivar 2C577, com sete sementes por vaso. Cinco dias após a emergência, foi feito o primeiro desbaste, deixando-se cinco plantas por vaso. Três dias depois, foi realizado o segundo desbaste, deixando-se duas plantas por vaso.

Os vasos foram irrigados diariamente com água destilada para repor as perdas por evapotranspiração. O controle da irrigação foi feito por meio da pesagem diária dos vasos. Foram realizadas, em cobertura, cinco aplicações de 50 mg dm⁻³ de N na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄) ou de uréia (CO(NH₂)₂). Trinta e cinco dias após a semeadura, foi efetuado o corte da parte aérea das plantas de cada vaso a 1 cm do solo. Em seguida, o material vegetal foi lavado em água corrente de torneira, e, posteriormente, com água

Quadro 1. Características químicas, físicas e mineralógicas das amostras dos doze solos representativos do Estado da Paraíba⁽¹⁾

Característica	Solo ⁽²⁾											
	Mais intemperizado						Menos intemperizado					
	PA	PAC	PVe	PVA	LA	PVd	RR	RL	TX	SX	RY	VX
pH (H ₂ O)	5,9	4,4	6,3	5,5	5,9	5,0	7,0	6,2	6,2	7,2	7,3	8,4
C orgânico (g kg ⁻¹)	3,5	10,7	9,0	10,7	5,9	8,0	3,4	3,8	7,6	4,3	8,9	3,7
P-rem (mg L ⁻¹) ⁽³⁾	45	47	35	28	44	28	54	45	41	37	44	25
P-Mehlich-1 (mg dm ⁻³)	1,52	3,59	6,80	2,63	11,42	2,32	24,07	4,31	4,35	21,58	144,33	19,77
CMAP (mg g ⁻¹) ⁽⁴⁾	0,1742	0,1448	0,2972	0,2880	0,1768	0,3473	0,0306	0,1305	0,1776	0,2486	0,1728	0,4353
a (L mg ⁻¹) ⁽⁴⁾	0,3865	0,0989	0,1738	0,6526	0,1958	0,3468	0,1076	0,1593	0,2159	0,1647	0,1286	0,2284
k (L mg ⁻¹) ⁽⁶⁾	0,0690	0,0283	0,0822	0,1173	0,0533	0,1242	0,0084	0,0349	0,0501	0,0662	0,0382	0,1313
n ⁽⁵⁾	4,1138	2,6522	3,2234	4,0838	3,3762	3,7693	3,0603	3,1542	3,1052	3,1885	2,7765	3,2428
K ⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0,4	1,0	3,9	2,4	1,8	1,9	1,8	1,9	6,4	2,1	6,0	6,9
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	6,0	8,0	54,0	11,0	16,0	19,0	18,0	20,0	61,0	122,0	110,0	291,0
Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	4,0	6,0	18,0	13,0	11,5	8,0	9,0	11,0	40,0	56,0	40,0	104,0
Na ⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0,2	0,5	0,4	0,4	1,1	0,4	0,2	2,5	1,0	3,0	0,9	21,9
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	1,1	9,6	0,0	3,2	0,0	3,2	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	16,8	56,7	27,5	55,0	21,4	42,8	10,7	22,9	29,0	15,3	12,2	7,6
CTC efetiva (mmol _c dm ⁻³)	11,7	24,9	76,3	30,0	30,4	32,4	29,0	35,9	108,9	183,1	156,9	423,7
CTC a pH 7 (mmol _c dm ⁻³)	27,4	72,0	103,8	81,8	51,8	72,0	39,7	58,3	137,4	198,4	169,1	431,3
Areia grossa (g kg ⁻¹)	520	590	300	530	450	210	610	430	460	330	160	130
Areia fina (g kg ⁻¹)	360	250	280	130	200	280	280	380	210	310	290	90
Silte (g kg ⁻¹)	30	40	240	110	60	130	80	110	190	170	350	350
Argila (g kg ⁻¹)	90	120	180	230	290	380	30	80	140	190	200	430
Dens. do solo (g cm ⁻³)	1,47	1,48	1,44	1,36	1,35	1,28	1,67	1,54	1,42	1,43	1,34	1,29
Dens. de partículas (g cm ⁻³)	2,80	2,79	2,65	2,60	2,67	2,80	2,96	2,82	2,73	2,78	2,69	2,65
Porosidade (cm ³ cm ⁻³)	0,48	0,47	0,46	0,48	0,49	0,54	0,44	0,45	0,48	0,49	0,50	0,51
Equiv. de umidade (kg kg ⁻¹)	0,078	0,066	0,126	0,129	0,122	0,184	0,046	0,064	0,118	0,149	0,195	0,346
Fe _d ⁽⁶⁾ (g kg ⁻¹)	2,34	1,32	4,01	2,84	2,71	5,60	1,04	1,11	1,32	3,16	1,64	0,96
Índice Ki (SiO ₂ /Al ₂ O ₃)	1,72	1,92	2,11	2,46	2,16	2,25	2,17	2,93	3,42	4,21	3,20	4,52
Minerais predominantes na fração argila ⁽⁷⁾	Ct, Gb, Gt	Ct, Gt	Ct, Gt, Mi, (2:1)	Ct, Gt	Ct, Gt	Ct, Gt	Ct, Gt, Mi, Hm	Ct, Mi, Qz, (2:1)	Mi, Ct, (2:1)	Ct, Mi, (2:1), Fp	(2:1), Mi, Ct, Gt	(2:1), Mi, Ct, Qz, Mi

⁽¹⁾ Análises químicas, físicas e mineralógicas realizadas conforme métodos apresentadas em Embrapa (1997). ⁽²⁾ De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006): PA: Argissolo Amarelo; PAC: Argissolo Acinzentado; PVe: Argissolo Vermelho eutrófico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo; PVd: Argissolo Vermelho distrófico; RR: Neossolo Regolítico; RL: Neossolo Litólico; TX: Luvisolo Háplico; SX: Planossolo Háplico; RY: Neossolo Flúvico; VX: Vertissolo Háplico. ⁽³⁾ Fósforo remanescente (Alvarez V. et al., 2000). ⁽⁴⁾ Parâmetros da isoterma de Langmuir, sendo CMAP a capacidade máxima de adsorção de P e a a constante relacionada à energia de adsorção. ⁽⁵⁾ Constantes da isoterma de Freundlich ⁽⁶⁾ Óxido de ferro livre extraído por ditionito-citrato-bicarbonato. ⁽⁷⁾ Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Gt: goethita; Mi: mica; (2:1): argilomineral tipo 2:1; Hm: hematita; Qz: quartzo; Fp: feldspatos.

destilada, submetido a uma pré-secagem ainda na casa de vegetação e acondicionado em saco de papel perfurado. Para completar a secagem, o material foi levado a uma estufa de circulação forçada de ar, a 70 °C, até peso constante, e depois pesado para obtenção da massa da matéria seca. Depois de pesada, a matéria seca da parte aérea foi triturada em moinho tipo Wiley e mineralizada por digestão sulfúrica (Tedesco et al., 1995) e dosado o P nos extratos por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974).

Foram ajustadas equações de regressão relacionando a produção de matéria seca e a quantidade de P acumulada na parte aérea das plantas como variáveis das doses de P aplicadas e dos teores de P recuperados pelos extratores testados. Também foram ajustadas equações de regressão linear simples para estimar o teor de P recuperado pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e resina de troca iônica mista como variável das doses de P aplicadas. Os valores dos coeficientes angulares dessas equações de regressão (declividades ΔP recuperado pelos extratores/ ΔP aplicado e ΔP acumulado na planta/ ΔP aplicado) e dos níveis críticos de P no solo e na planta foram correlacionados com características dos solos que refletem seu fator capacidade de P (FCP).

De acordo com método proposto por Alvarez V. (1996), foram ajustadas equações de regressão (modelo quadrático) que relacionam a produção de matéria seca como variável das doses de P aplicadas, com as quais se calcularam os valores das doses de P associadas às produções de máxima eficiência física (MEF). Como o experimento não era de campo, considerou-se como “máxima eficiência econômica” (MEE) a produção de matéria seca correspondente a 90 % da MEF. A partir dos valores das doses de P para MEE e das equações de regressão, que estimam o P extraído dos solos pelos extratores e o P acumulado na planta, como variáveis das doses de P aplicadas, foram calculados os níveis críticos de P nos solos e na planta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de P pelos quatro extratores apresentaram variabilidade elevada para a dose zero de P (Quadro 2), evidenciando que os solos são bastante diferentes quanto às suas reservas de P disponível (Quadro 1). O extrator Mehlich-3 (M-3) foi o que extraiu mais P dos solos e o Bray-1 (B-1) foi o que extraiu menos,

Quadro 2. Fósforo recuperado pelos extratores Mehlich-1 (M-1), resina de troca iônica (RTI), Mehlich-3 (M-3) e Bray-1 (B-1) para diferentes doses de fósforo aplicadas aos solos

Solo ⁽¹⁾	Nível de fósforo ⁽²⁾																			
	0				1				2				4				8			
	M-1	RTI	M-3	B-1	M-1	RTI	M-3	B-1	M-1	RTI	M-3	B-1	M-1	RTI	M-3	B-1	M-1	RTI	M-3	B-1
	mg dm ⁻³																			
	Solos mais intemperizados																			
PA	2,1	1,1	1,9	1,8	15,9	22,1	24,3	19,1	36,4	49,2	52,4	43,6	91,9	115,1	119,4	99,4	219,9	266,7	255,8	216,5
PAC	6,4	6,0	8,1	7,6	29,1	29,6	36,1	33,8	56,0	54,5	65,0	62,2	115,0	117,1	126,7	132,2	236,4	267,5	239,7	242,1
PVe	9,2	11,0	14,9	10,1	24,1	36,7	34,7	28,3	42,5	66,8	62,0	50,8	88,9	134,3	127,1	105,3	222,5	305,5	261,8	239,9
PVA	4,2	4,8	4,2	4,3	16,9	25,4	25,4	19,7	33,9	45,2	48,6	41,2	73,7	103,2	100,8	91,5	171,7	258,9	229,3	202,0
LA	12,1	14,0	24,2	17,1	30,3	37,5	48,4	41,2	50,8	67,1	78,5	66,6	106,7	123,9	135,9	126,2	206,0	276,0	262,0	218,3
PVd	4,9	4,1	4,2	3,8	17,1	25,1	18,3	16,1	31,1	55,8	38,9	33,9	75,4	111,8	91,0	87,6	178,3	270,9	194,3	191,6
Média	6,5	6,8	9,6	7,5	22,2	29,4	31,2	26,4	41,8	56,4	57,6	49,7	91,9	117,6	116,8	107,0	205,8	274,3	240,5	218,4
CV (%)	56	70	89	75	29	22	35	37	24	16	24	25	18	9	15	17	13	6	11	9
	Solos menos intemperizados																			
RR	29,3	26,1	36,4	27,4	54,7	58,6	70,9	55,8	89,0	91,4	111,1	87,8	149,0	160,1	173,3	148,8	267,7	301,2	287,5	250,9
RL	7,6	5,9	11,7	5,3	24,8	30,2	36,8	23,9	43,0	57,2	67,9	47,5	100,0	126,6	132,7	99,3	214,9	273,6	269,0	236,2
TX	7,0	7,0	9,5	6,1	20,0	29,2	29,8	23,5	40,2	60,0	57,2	48,8	79,0	121,8	114,4	104,6	201,1	262,9	238,4	227,5
SX	32,8	43,4	114,3	5,5	46,7	63,8	157,0	21,1	71,9	84,0	182,5	43,0	124,6	146,8	234,8	86,5	210,3	266,6	323,1	185,6
RY	128,9	106,6	205,4	46,9	167,4	142,5	252,3	66,5	185,6	169,5	267,4	91,26	234,7	299,3	321,5	137,2	345,9	417,5	430,9	252,6
VX	26,2	31,0	44,7	2,2	43,7	68,5	74,8	14,6	74,9	151,4	113,4	44,7	130,9	162,1	162,2	100,0	209,3	348,5	287,8	180,7
Média	38,6	36,7	70,3	15,6	59,6	65,5	103,6	34,2	84,1	102,3	133,3	60,5	136,4	169,5	189,8	112,7	241,5	311,7	306,1	222,3
CV (%)	118	101	109	115	91	63	83	62	63	46	59	37	40	39	40	22	23	20	22	14
	Todos os solos																			
Média	22,6	21,8	40,0	11,5	40,9	47,4	67,4	30,3	62,9	79,3	95,4	55,1	114,2	143,5	153,3	109,9	223,7	293,0	273,3	220,3
CV (%)	156	136	152	116	102	72	103	54	68	51	70	33	39	37	43	19	20	16	22	12

⁽¹⁾ De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006): PA: Argissolo Amarelo; PAC: Argissolo Acinzentado; PVe: Argissolo Vermelho eutrófico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo; PVd: Argissolo Vermelho distrófico; RR: Neossolo Regolítico; RL: Neossolo Litólico; TX: Luvissolo Háplico; SX: Planossolo Háplico; RY: Neossolo Flúvico; VX: Vertissolo Háplico. ⁽²⁾ O nível 8 correspondeu à dose máxima de P recomendada por Alvarez V. et al. (2000) de acordo com o P remanescente. Para os solos PA, PVe, LA, RL, TX, SX e RY, aplicaram-se as doses 0; 43,75; 87,5; 175 e 350 mg dm⁻³ de P. Para os solos PAC e RR, aplicaram-se as doses 0; 37,5; 75; 150 e 300 mg dm⁻³ de P. Para os solos PVA, PVd e VX, as doses de P foram 0; 51,25; 102,5; 205 e 410 mg dm⁻³ de P.

independentemente da dose de P aplicada. Os extratores Mehlich-1 (M-1) e resina de troca iônica mista (RTI) extraíram teores intermediários de P, sendo que a RTI extraiu mais P que o M-1, principalmente nas maiores doses de P.

A RTI extraiu mais P que o M-1 (Quadro 2) até mesmo nos solos ricos em Ca^{2+} e com pH neutro a alcalino (PVe, TX, SX, RY e VX) (Quadro 1), nos quais são esperados maiores teores de P-Ca, que é uma forma de P preferencialmente extraída pelo M-1 e não pela RTI. Essa maior capacidade de extração de P do solo pela RTI em relação ao M-1 pode ser um indicio de que o P adicionado a esses solos vai preferencialmente ser adsorvido aos coloides minerais do solo para formar P-Fe e P-Al, em vez de precipitar com o Ca do solo e formar P-Ca. Outro fato a ser considerado é que a baixa capacidade tampão desses solos (conforme pode ser verificada pelos valores elevados de P-rem apresentados no quadro 1) faz com que em uma única extração a RTI extraia boa parte do P lábil desses solos, ao contrário do que ocorreria em solos com alto FCP, em que o P extraído pela RTI em uma única extração representaria uma fração menor do P lábil do solo, de modo geral, inferior a 50 % da dose aplicada (Campello et al., 1994). Além do mais, valores elevados de pH e de teor de argila nos solos SX, RY e VX devem ter provocado desgaste do M-1, diminuindo seu poder de extração, o que não ocorreu com a RTI. Segundo Novais & Smyth (1999), nos solos mais argilosos, com maior capacidade tampão da acidez, o pH inicial de 1,2 do M-1 é rapidamente elevado para valores de pH próximos ao do solo. Ao mesmo tempo, o SO_4^{2-} do extrator, que atua por troca com o P adsorvido, é, também, rapidamente adsorvido pelo solo em sítios de adsorção ainda não ocupados pelo P. Assim, a atuação conjunta desses dois fenômenos é responsável pela diminuição do poder de extração de P pelo M-1.

A maior extração de P pelo M-3 em relação aos demais extratores ocorreu de maneira mais marcante para os solos SX e RY e em todas as doses (Quadro 2). No solo VX, esse comportamento só foi observado para as duas primeiras doses, e o M-3 extraiu teor de P semelhante ou menor que a RTI para as demais doses. Independente da dose de P, nos solos mais intemperizados, o B-1 extraiu mais P que o M-1, mas esse comportamento se inverte na média do grupo de solos menos intemperizados, principalmente nos solos SX, RY e VX (Quadro 1). Os teores mais elevados de argila e de Ca^+ , associados ao pH alcalino, podem ter sido responsáveis pelo menor poder de extração do B-1 nos solos SX, RY e VX (Quadro 2). Nesses solos, uma parte da acidez do B-1 deve ter sido consumida pela alcalinidade dos solos, e uma parte dos íons F^- , em vez de complexar Al e extrair P, deve ter formado complexos CaF_2 , o que explica os baixos teores de P extraídos pelo B-1 nos solos SX, RY e VX (Quadro 2).

Os teores de P recuperados pelos extratores e o P acumulado na parte aérea de plantas de milho aumentaram linearmente com as doses de P aplicadas

(Quadro 3). Para os quatro extratores e a planta, em média, as declividades $\Delta\text{P recuperado}/\Delta\text{P aplicado}$ são muito semelhantes quando se compara o grupo de solos mais intemperizados com o grupo de solos menos intemperizados. As declividades $\Delta\text{P recuperado}/\Delta\text{P aplicado}$ para os extratores M-1 e B-1 foram semelhantes e cerca de 10 % menores que aquelas verificadas para o extrator M-3. A RTI foi o extrator que em geral apresentou maior taxa de recuperação do P aplicado, 17 % maior que o valor médio para o M-3. A superioridade da RTI em relação ao M-3, em termos de eficiência de recuperação do P aplicado ao solo, foi mais notória nos solos RY, PVd e VX (Quadro 3).

As análises de correlação mostraram que os extratores M-1, M-3 e B-1 foram mais sensíveis ao fator capacidade de P (FCP), e que a RTI e a planta foram pouco sensíveis, pois os valores das declividades $\Delta\text{P acumulado pela planta}/\Delta\text{P aplicado}$ e $\Delta\text{P recuperado pelos extratores}/\Delta\text{P aplicado}$ se correlacionaram significativamente com a maioria das características do solo que refletem o FCP (Quadro 4). Os sinais dos coeficientes de correlação indicam que os extratores e a planta apresentam maior taxa de recuperação do P aplicado nos solos de menor FCP, concordando com o que relatam Muniz et al. (1985) e Muniz et al. (1987).

Foram ajustadas equações de regressão que estimam o P acumulado na parte aérea da planta como variável do teor de P do solo avaliado pelos extratores, considerando cada solo, o grupo de solos mais intemperizados, o grupo de solos menos intemperizados e agrupando-se os 12 solos (Quadro 5). Os valores de R^2 elevados (geralmente maior que 0,90) para todos os extratores em cada um dos solos indicam a eficiência de todos esses extratores para estimar a disponibilidade de P para as plantas. Quando se agruparam os solos muito intemperizados, os valores de R^2 para os extratores M-1 (0,88), M-3 (0,87) e B-1 (0,89) foram semelhantes e pouco maiores que o encontrado para a RTI (0,83). Esses valores para o grupo de solos menos intemperizados foram menores, principalmente para o M-3 (0,63) e a RTI (0,68). Quando todos os solos foram agrupados, obtiveram-se valores intermediários de R^2 semelhantes para M-1 (0,83) e B-1 (0,82), e maiores que os encontrados para o M-3 (0,73) e a RTI (0,75). Isso mostra que os valores de R^2 desses modelos podem variar com o grupo de solos, de modo que é preciso mais cautela ao se interpretar a eficiência de extratores de P disponível em trabalhos de correlação de métodos de análises de solos.

A produção média de matéria seca variou de 14,83 a 22,73 g/vaso nos solos mais intemperizados e de 13,54 a 30,25 g/vaso nos solos menos intemperizados. Foram ajustadas equações de regressão (modelo quadrático) que relacionam a produção de matéria seca como variável das doses de P aplicadas, com as quais se calcularam os valores de máxima eficiência física (MEF), máxima eficiência econômica (MEE) e doses de P correspondentes à MEF e MEE (Quadro 6).

Quadro 3. Equações de regressão linear simples entre o P recuperado (y, em mg dm⁻³) pelos extratores Mehlich-1 (M-1), resina de troca iônica mista (RTI), Mehlich-3 (M-3) e Bray-1 (B-1) e o P acumulado (y, mg/vaso) na parte aérea de plantas de milho, nos solos representativos do Estado da Paraíba, como variável dependente de doses de P (x, em mg dm⁻³) aplicadas aos solos

Solo ⁽¹⁾	Extrator	Equação ⁽²⁾	R ²	Solo ⁽¹⁾	Extrator	Equação ⁽²⁾	R ²
Solos mais intemperizados				Solos menos intemperizados			
PA	M-1	$\hat{y} = -10,52 + 0,6382^{**}x$	0,99	RR	M-1	$\hat{y} = 27,83 + 0,8008^{**}x$	0,99
	RTI	$\hat{y} = -0,81 + 0,4502^{**}x$	0,99		RTI	$\hat{y} = 24,06 + 0,9193^{**}x$	0,99
	M-3	$\hat{y} = -6,12 + 0,7380^{**}x$	0,99		M-3	$\hat{y} = 42,18 + 0,8326^{**}x$	0,99
	B-1	$\hat{y} = -6,00 + 0,6254^{**}x$	0,99		B-1	$\hat{y} = 30,03 + 0,7477^{**}x$	0,99
	Planta	$\hat{y} = -2,86 + 0,3699^{**}x$	0,98		Planta	$\hat{y} = 35,52 + 0,5918^{**}x$	0,97
PAC	M-1	$\hat{y} = 1,32 + 0,7757^{**}x$	0,99	RL	M-1	$\hat{y} = -1,42 + 0,6051^{**}x$	0,99
	RTI	$\hat{y} = -4,25 + 0,8818^{**}x$	0,99		RTI	$\hat{y} = -3,23 + 0,7768^{**}x$	0,99
	M-3	$\hat{y} = 7,81 + 0,7759^{**}x$	0,99		M-3	$\hat{y} = 6,03 + 0,7436^{**}x$	0,99
	B-1	$\hat{y} = 6,32 + 0,7935^{**}x$	0,99		B-1	$\hat{y} = -5,26 + 0,6680^{**}x$	0,99
	Planta	$\hat{y} = 9,94 + 0,4677^{**}x$	0,91		Planta	$\hat{y} = 7,98 + 0,4372^{**}x$	0,96
PVe	M-1	$\hat{y} = -3,81 + 0,6191^{**}x$	0,98	TX	M-1	$\hat{y} = -4,31 + 0,5620^{**}x$	0,98
	RTI	$\hat{y} = -0,78 + 0,8505^{**}x$	0,99		RTI	$\hat{y} = -1,09 + 0,7410^{**}x$	0,99
	M-3	$\hat{y} = 5,59 + 0,7200^{**}x$	0,99		M-3	$\hat{y} = 2,73 + 0,6636^{**}x$	0,99
	B-1	$\hat{y} = -0,65 + 0,6669^{**}x$	0,99		B-1	$\hat{y} = -2,52 + 0,6447^{**}x$	0,99
	Planta	$\hat{y} = 9,51 + 0,3933^{**}x$	0,99		Planta	$\hat{y} = 13,62 + 0,3279^{**}x$	0,98
PVA	M-1	$\hat{y} = -3,80 + 0,4156^{**}x$	0,99	SX	M-1	$\hat{y} = 28,82 + 0,5214^{**}x$	0,99
	RTI	$\hat{y} = -9,06 + 0,6279^{**}x$	0,98		RTI	$\hat{y} = 35,70 + 0,6500^{**}x$	0,99
	M-3	$\hat{y} = -3,49 + 0,5538^{**}x$	0,99		M-3	$\hat{y} = 126,54 + 0,5777^{**}x$	0,99
	B-1	$\hat{y} = -3,84 + 0,4917^{**}x$	0,99		B-1	$\hat{y} = -0,09 + 0,5215^{**}x$	0,99
	Planta	$\hat{y} = -1,68 + 0,2300^{**}x$	0,99		Planta	$\hat{y} = 8,19 + 0,3726^{**}x$	0,96
LA	M-1	$\hat{y} = 7,00 + 0,5653^{**}x$	0,99	RY	M-1	$\hat{y} = 133,21 + 0,6041^{**}x$	0,99
	RTI	$\hat{y} = 4,74 + 0,7541^{**}x$	0,99		RTI	$\hat{y} = 106,12 + 0,9214^{**}x$	0,98
	M-3	$\hat{y} = 19,96 + 0,6846^{**}x$	0,99		M-3	$\hat{y} = 213,92 + 0,6215^{**}x$	0,99
	B-1	$\hat{y} = 17,58 + 0,5813^{**}x$	0,99		B-1	$\hat{y} = 41,25 + 0,5916^{**}x$	0,99
	Planta	$\hat{y} = 16,35 + 0,2174^{**}x$	0,77		Planta	$\hat{y} = 71,41 + 0,2628^{**}x$	0,90
PVd	M-1	$\hat{y} = -5,18 + 0,4328^{**}x$	0,99	VX	M-1	$\hat{y} = 26,73 + 0,4568^{**}x$	0,99
	RTI	$\hat{y} = -7,57 + 0,6576^{**}x$	0,99		RTI	$\hat{y} = 38,07 + 0,7430^{**}x$	0,96
	M-3	$\hat{y} = -3,72 + 0,4753^{**}x$	0,99		M-3	$\hat{y} = 46,29 + 0,5873^{**}x$	0,99
	B-1	$\hat{y} = -6,00 + 0,4722^{**}x$	0,99		B-1	$\hat{y} = -0,81 + 0,4502^{**}x$	0,99
	Planta	$\hat{y} = 0,42 + 0,1985^{**}x$	0,99		Planta	$\hat{y} = 7,69 + 0,1693^{**}x$	0,93

⁽¹⁾ De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006): PA: Argissolo Amarelo; PAC: Argissolo Acinzentado; PVe: Argissolo Vermelho eutrófico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo; PVd: Argissolo Vermelho distrófico; RR: Neossolo Regolítico; RL: Neossolo Litólico; TX: Luvisso Háplico; SX: Planossolo Háplico; RY: Neossolo Flúvico; VX: Vertissolo Háplico. ⁽²⁾ Todas as regressões são significativas a 1 % pelo teste t.

O valor médio da dose de P correspondente à MEE (DMEE) foi de 177,49 mg dm⁻³ para os solos mais intemperizados e de 139,82 mg dm⁻³ para os menos intemperizados (Quadro 6). No entanto, os solos PVA, PVd e VX apresentaram valores de DMEE muito superiores aos demais solos (212,17, 256,25 e 228,25 mg dm⁻³, respectivamente), com valores de MEE não superior à média dos solos. Isso evidencia o moderado caráter drenado de P desses solos, que pode ser inferido pelos seus valores elevados de CMAP e teor de argila (Quadro 1).

A ordem decrescente de valores de nível crítico de P no solo foi RTI > M-3 > B-1 > M-1 para os solos mais intemperizados, e M-3 > RTI > M-1 > B-1 para os menos intemperizados, ou considerando todos os solos (Quadro 7). De acordo com o método proposto por Alvarez V. (1996) para calcular o nível crítico de um nutriente no solo, os valores encontrados são diretamente proporcionais à DMEE (Quadro 6) e aos valores do intercepto e das declividades das equações de regressão linear simples que estimam o P recuperado pelos extratores em função do P aplicado

Quadro 4. Coeficientes de correlação linear simples entre as declividades ΔP recuperado pelos extratores/ ΔP aplicado e ΔP acumulado pela planta/ ΔP aplicado e características do solo que refletem o Fator Capacidade de P dos solos, para os extratores Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3), Bray-1 (B-1), resina de troca iônica mista (RTI) e para a planta

Característica	ΔP recuperado pelo extrator/ ΔP aplicado				ΔP acumulado pela planta/ ΔP aplicado
	M-1	M-3	B-1	RTI	
Solos mais intemperizados					
CMAP ⁽¹⁾	-0,77*	-0,80*	-0,69*	-0,58 ^{ns}	-0,51 ^{ns}
a ⁽¹⁾	-0,75*	-0,62 ^{ns}	-0,74*	-0,84**	-0,54 ^{ns}
k ⁽²⁾	-0,91**	-0,90**	-0,88**	-0,83**	-0,68 ^{ns}
P-rem ⁽³⁾	0,86**	0,88**	0,77*	0,74*	0,60 ^{ns}
Argila	-0,75*	-0,83**	-0,74*	-0,65 ^{ns}	-0,86**
EU ⁽⁴⁾	-0,83**	-0,89**	-0,81*	-0,67 ^{ns}	-0,79*
Solos menos intemperizados					
CMAP	-0,89**	-0,81*	-0,96**	-0,56 ^{ns}	-0,69*
a	-0,82**	-0,57 ^{ns}	-0,63 ^{ns}	-0,69*	-0,44 ^{ns}
k	-0,86**	-0,74*	-0,92**	-0,57 ^{ns}	-0,62 ^{ns}
P-rem	0,93**	0,82**	0,95**	0,64 ^{ns}	0,66 ^{ns}
Argila	-0,81*	-0,78*	-0,93**	-0,35 ^{ns}	-0,78*
EU	-0,75*	-0,76*	-0,90**	-0,24 ^{ns}	-0,90**
Todos os solos					
CMAP	-0,80**	-0,76**	-0,80**	-0,57*	-0,64**
a	-0,63**	-0,51*	-0,55*	-0,67**	-0,37 ^{ns}
k	-0,86**	-0,79**	-0,84**	-0,70**	-0,62**
P-rem	0,89**	0,84**	0,84**	0,69**	0,64**
Argila	-0,76**	-0,79**	-0,82**	-0,49*	-0,80**
EU	-0,65**	-0,67**	-0,76**	-0,27 ^{ns}	-0,75**

⁽¹⁾ Parâmetros da isoterma de Langmuir: CMAP é a capacidade máxima de adsorção de fosfato e a é a constante relacionada à energia de adsorção. ⁽²⁾ Constante da isoterma de Freundlich. ⁽³⁾ Fósforo remanescente (Alvarez V. et al., 2000). ⁽⁴⁾ Equivalente de umidade. ^{ns}, * e **: não significativo, significativos a 5 e 1 %, respectivamente.

(Quadro 3). O valor da DMEE de um solo é o mesmo independente do extrator. Apenas o intercepto e a declividade dessas equações variam com o extrator. Portanto, os valores de nível crítico de P no solo (Quadro 7) dependem do intercepto e da declividade ΔP recuperado pelo extrator/ ΔP aplicado para solos com teor de P inicial baixo e praticamente só depende da declividade ΔP recuperado pelo extrator/ ΔP aplicado para solos com teor de P inicial elevado.

Os valores dos coeficientes de variação mostram que houve maior variabilidade do nível crítico de P dentro do grupo de solos menos intemperizados, em relação ao grupo de solos mais intemperizados (Quadro 7). Com exceção do extrator B-1, o nível crítico médio de P pelos extratores foi maior no grupo de solos menos intemperizados. Os maiores níveis críticos de P no solo obtidos com a RTI e os menores com o M-1, nos solos mais intemperizados (Quadro 7) estão de acordo com Oliveira et al. (2000). Estudando os níveis críticos de P em seis solos da Zona da Mata de Pernambuco, com diferentes teores de argila, Bonfim et al. (2004) também encontraram os menores níveis críticos de P no solo com a utilização do M-1.

As plantas cultivadas nos solos PAC e RR, onde os valores de P-rem são elevados (Quadro 1), apresentaram os maiores teores de P na parte aérea,

principalmente quando receberam as duas maiores doses de P (Farias, 2007). Pela análise dos coeficientes de correlação linear simples entre os níveis críticos de P no solo pelos extratores e características dos solos relacionadas com o FCP, observa-se que, para os extratores M-1, M-3 e B-1, os níveis críticos não se correlacionaram com o FCP, independente do grupo de solos utilizados na análise de correlação (Quadro 8). Tal resultado discorda de Bonfim et al. (2004), que verificaram correlações altamente significativas entre os níveis críticos de P por esses extratores e o P-rem e a CMAP em solos com diferentes teores de argila.

Os níveis críticos de P pela RTI apresentaram correlações significativas com características dos solos relacionadas ao FCP, com valores de r maiores para o grupo de solos menos intemperizados (Quadro 8). Embora sejam significativos, os coeficientes de correlação linear entre nível crítico de P pela RTI e P-rem, CMAP, constante k da isoterma de Freundlich e equivalente de umidade não foram elevados nos solos mais intemperizados. A relação inversa entre a capacidade tampão de fosfato e o nível crítico de P no solo foi previamente demonstrada por Olsen & Watanabe (1970). Solos com maior FCP têm apresentado menores níveis críticos de P nos solos e nas plantas (Bedin et al., 2003; Bonfim et al., 2004).

Quadro 5. Equações de regressão linear simples que estimam os conteúdos de P na parte aérea da planta (y, em mg/vaso) em função dos teores de P disponível (x, em mg dm⁻³) extraídos do solo pelos extratores Mehlich-1, resina de troca iônica mista, Mehlich-3 e Bray-1, em solos mais e menos intemperizados do Estado da Paraíba

Solo ⁽¹⁾	n ⁽²⁾	Equação	R ²	Equação	R ²
		Mehlich-1		Resina de troca iônica	
Solos mais intemperizados (SMAI)					
PA	5	$\hat{y} = 3,81 + 0,5716^{**}x$	0,97	$\hat{y} = 2,59 + 0,4744^{**}x$	0,97
PAC	5	$\hat{y} = 9,62 + 0,5976^{**}x$	0,89	$\hat{y} = 13,73 + 0,5142^{**}x$	0,86
PVe	5	$\hat{y} = 13,33 + 0,6172^{**}x$	0,96	$\hat{y} = 6,85 + 0,5423^{**}x$	0,98
PVA	5	$\hat{y} = 0,62 + 0,5501^{**}x$	0,99	$\hat{y} = 2,02 + 0,3619^{**}x$	0,99
LA	5	$\hat{y} = 14,29 + 0,3768^{**}x$	0,74	$\hat{y} = 16,27 + 0,2758^{**}x$	0,71
PVd	5	$\hat{y} = 3,06 + 0,4542^{**}x$	0,99	$\hat{y} = 2,97 + 0,2990^{**}x$	0,99
Média dos valores de R ²			0,92		0,92
Solos menos intemperizados (SMEI)					
RR	5	$\hat{y} = 14,98 + 0,7388^{**}x$	0,96	$\hat{y} = 20,26 + 0,6419^{**}x$	0,96
RL	5	$\hat{y} = 9,96 + 0,7103^{**}x$	0,93	$\hat{y} = 10,53 + 0,5554^{**}x$	0,94
TX	5	$\hat{y} = 17,55 + 0,5630^{**}x$	0,93	$\hat{y} = 14,58 + 0,4376^{**}x$	0,96
SX	5	$\hat{y} = -12,60 + 0,7167^{**}x$	0,97	$\hat{y} = -11,45 + 0,5665^{**}x$	0,94
RY	5	$\hat{y} = 14,82 + 0,4286^{**}x$	0,88	$\hat{y} = 41,24 + 0,2848^{**}x$	0,92
VX	5	$\hat{y} = -2,19 + 0,3703^{**}x$	0,93	$\hat{y} = -1,03 + 0,2282^{**}x$	0,97
Média dos valores de R ²			0,93		0,95
SMAI ⁽³⁾	30	$\hat{y} = 6,12 + 0,5479^{**}x$	0,88	$\hat{y} = 7,44 + 0,4030^{**}x$	0,83
SMEI ⁽⁴⁾	30	$\hat{y} = 10,10 + 0,5360^{**}x$	0,78	$\hat{y} = 15,08 + 0,4015^{**}x$	0,68
Todos ⁽⁵⁾	60	$\hat{y} = 7,71 + 0,5450^{**}x$	0,83	$\hat{y} = 10,45 + 0,4090^{**}x$	0,75
		Mehlich-3		Bray-1	
Solos mais intemperizados (SMAI)					
PA	5	$\hat{y} = 0,32 + 0,4999^{**}x$	0,98	$\hat{y} = 0,85 + 0,5892^{**}x$	0,98
PAC	5	$\hat{y} = 4,99 + 0,6053^{**}x$	0,91	$\hat{y} = 5,67 + 0,5951^{**}x$	0,93
PVe	5	$\hat{y} = 6,85 + 0,5423^{**}x$	0,98	$\hat{y} = 10,71 + 0,5803^{**}x$	0,97
PVA	5	$\hat{y} = -0,19 + 0,4135^{**}x$	0,99	$\hat{y} = -0,11 + 0,4139^{**}x$	0,99
LA	5	$\hat{y} = 10,49 + 0,3131^{**}x$	0,75	$\hat{y} = 9,42 + 0,3777^{**}x$	0,78
PVd	5	$\hat{y} = 2,03 + 0,4169^{**}x$	0,99	$\hat{y} = 3,05 + 0,4188^{**}x$	0,99
Média dos valores de R ²			0,93		0,94
Solos menos intemperizados (SMEI)					
RR	5	$\hat{y} = 5,04 + 0,7145^{**}x$	0,98	$\hat{y} = 11,22 + 0,7962^{**}x$	0,98
RL	5	$\hat{y} = 4,83 + 0,5842^{**}x$	0,95	$\hat{y} = 12,94 + 0,6360^{**}x$	0,91
TX	5	$\hat{y} = 12,69 + 0,4895^{**}x$	0,97	$\hat{y} = 15,47 + 0,5017^{**}x$	0,96
SX	5	$\hat{y} = -73,77 + 0,6467^{**}x$	0,97	$\hat{y} = 8,87 + 0,7054^{**}x$	0,94
RY	5	$\hat{y} = -17,25 + 0,4168^{**}x$	0,88	$\hat{y} = 54,17 + 0,4351^{**}x$	0,87
VX	5	$\hat{y} = -5,97 + 0,2906^{**}x$	0,95	$\hat{y} = 8,14 + 0,3740^{**}x$	0,92
Média dos valores de R ²			0,95		0,93
SMAI ⁽³⁾	30	$\hat{y} = 3,33 + 0,4735^{**}x$	0,87	$\hat{y} = 3,62 + 0,5240^{**}x$	0,89
SMEI ⁽⁴⁾	30	$\hat{y} = 8,06 + 0,3865^{**}x$	0,63	$\hat{y} = 14,29 + 0,6272^{**}x$	0,84
Todos ⁽⁵⁾	60	$\hat{y} = 6,67 + 0,4102^{**}x$	0,73	$\hat{y} = 8,62 + 0,5816^{**}x$	0,82

⁽¹⁾ PA: Argissolo Amarelo; PAC: Argissolo Acizentado; PVe: Argissolo Vermelho eutrófico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo; PVd: Argissolo Vermelho distrófico; RR: Neossolo Regolítico; RL: Neossolo Litólico; TX: Luvisso Háplico; SX: Planossolo Háplico; RY: Neossolo Flúvico; VX: Vertissolo Háplico. ⁽²⁾ Número de pares de dados utilizados para ajustar o modelo de regressão. ⁽³⁾ SMAI: solos mais intemperizados. ⁽⁴⁾ SMEI: solos menos intemperizados. ⁽⁵⁾ Todos os solos.

Quadro 6. Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho correspondente à máxima eficiência física (MEF) e econômica (MEE), doses de P relacionadas com a máxima eficiência física (DMEF) e econômica (DMEE) e nível crítico (NC) de P na parte aérea da planta

Solo ⁽¹⁾	MEF	MEE	DMEF	DMEE	NC na planta
	— g/vaso —		— mg dm ⁻³ —		g kg ⁻¹
Solos mais intemperizados					
PA	32,78	29,50	252,70	171,68	2,39
PAC	31,66	28,49	210,25	137,58	3,17
PVe	33,63	30,27	226,70	144,65	2,46
PVA	30,08	27,07	312,33	212,23	2,12
LA	28,84	25,96	227,63	142,65	2,12
PVd	31,24	28,12	381,25	256,21	2,33
Média	31,37	28,23	268,48	177,50	2,43
CV (%)	6	6	25	27	16
Solos menos intemperizados					
RR	29,93	26,94	188,50	66,22	2,72
RL	39,27	35,34	256,30	167,72	2,92
TX	36,30	32,67	265,90	170,68	2,65
SX	22,62	20,36	214,50	139,23	3,24
RY	33,65	30,29	251,00	67,64	2,97
VX	26,74	24,07	343,75	228,20	2,59
Média	31,42	28,28	253,33	139,95	2,85
CV (%)	20	20	21	45	9
Todos os solos					
Média	31,40	28,26	260,90	158,72	2,64
CV (%)	14	14	22	36	14

⁽¹⁾ De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006): PA: Argissolo Amarelo; PAC: Argissolo Acinzentado; PVe: Argissolo Vermelho eutrófico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo; PVd: Argissolo Vermelho distrófico; RR: Neossolo Regolítico; RL: Neossolo Litólico; TX: Luvisso Háplico; SX: Planossolo Háplico; RY: Neossolo Flúvico; VX: Vertissolo Háplico.

A partir da correlação dos níveis críticos de P na planta com características dos solos associadas ao FCP, observou-se que o nível crítico de P na planta não variou com o FCP em nenhum dos grupos de solos estudados (Quadro 8). Nenhuma correlação significativa foi encontrada entre o nível crítico de P na planta e o teor de argila, devido, provavelmente, à variação na composição mineralógica dessa fração. Vários pesquisadores observaram que o nível crítico de P na planta varia entre solos e esta variação está relacionada ao FCP (Freire et al., 1985; Muniz et al., 1985; Neves et al., 1987; Fabres et al., 1987; Fonseca et al., 1988; Mello et al., 1993; Bonfim et al., 2004).

Ao contrário do que geralmente se encontra na literatura (Novais & Smyth, 1999), neste trabalho os níveis críticos de P no solo pelos extratores M-1, M-3 e B-1 e o nível crítico de P na planta não variaram com o FCP, enquanto o nível crítico de P no solo pela RTI foi sensível ao FCP. Não houve sensibilidade dos níveis críticos de P pelos extratores M-1, M-3 e B-1 ao

FCP, porque, enquanto as declividades ΔP recuperado pelos extratores/ ΔP aplicado variaram inversamente com o FCP (Quadro 4), as DMEE variaram diretamente com o FCP (Quadro 8), de modo que um efeito anulou o outro. Isso não aconteceu com a RTI porque a correlação das declividades da RTI com o FCP não foi muito alta como verificado para os outros extratores (Quadro 4). Trabalhando com solos com teor de argila variando de 35 a 75 %, Lobato (1982) também não observou variação dos níveis críticos de P pelo M-1 com o FCP dos solos e afirmou que o que varia com o FCP é a quantidade de P necessária para atingir o nível crítico (DMEE), conforme verificado também neste trabalho. Tudo isso mostra quanto esse assunto é complexo e que muitas variáveis podem influenciar nos resultados, de modo que é necessário prudência ao fazer generalizações. Segundo Novais & Smyth (1999), a complexidade do problema "extrator do P-disponível" tem mostrado resultados contrários àqueles normalmente encontrados na literatura, conforme encontrado neste trabalho, de modo que faltam idéias mais criativas com melhor embasamento teórico, talvez até mesmo alguma mudança de rumo naquilo que se faz.

Quadro 7. Níveis críticos de P pelos extratores Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3), Bray-1 (B-1) e resina de troca iônica mista (RTI) em solos representativos do Estado da Paraíba

Solo ⁽¹⁾	Nível crítico ⁽²⁾			
	M-1	M-3	B-1	RTI
— mg dm ⁻³ —				
Solos mais intemperizados				
PA	99,05	120,58	101,37	122,07
PAC	108,04	114,56	115,49	117,07
PVe	85,77	109,77	95,85	122,27
PVA	84,40	114,04	100,51	124,20
LA	87,64	117,62	100,50	112,31
PVd	105,70	118,05	114,98	160,91
Média	95,10	115,77	104,78	126,47
CV (%)	11	3	8	14
Solos menos intemperizados				
RR	80,86	97,31	79,54	84,94
RL	100,06	130,74	106,78	127,06
TX	91,62	115,99	107,52	125,38
SX	101,41	206,97	72,52	126,19
RY	174,07	255,96	81,26	168,44
VX	130,98	180,31	101,93	207,62
Média	113,17	164,55	91,59	139,94
CV (%)	30	37	17	30
Todos os solos				
Média	104,13	140,16	98,19	133,21
CV (%)	25	34	14	24

⁽¹⁾ De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006): PA: Argissolo Amarelo; PAC: Argissolo Acinzentado; PVe: Argissolo Vermelho eutrófico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo; PVd: Argissolo Vermelho distrófico; RR: Neossolo Regolítico; RL: Neossolo Litólico; TX: Luvisso Háplico; SX: Planossolo Háplico; RY: Neossolo Flúvico; VX: Vertissolo Háplico. ⁽²⁾ Teor de P no solo extraído pelo extrator, que proporciona uma produção de matéria seca igual a 90 % da produção máxima.

Quadro 8. Coeficientes de correlação linear simples entre os níveis críticos de P nos solos pelos extratores Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3), Bray-1 (B-1) e resina de troca iônica mista (RTI) e o nível crítico de P na planta e dose de P para máxima eficiência econômica (DMEE), com características dos solos relacionadas com o FCP

Característica	Nível crítico de P					DMEE
	M-1	M-3	B-1	RTI	Planta	
Solos mais intemperizados						
CMAP ⁽¹⁾	-0,21 ^{ns}	0,32 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,75*	-0,45 ^{ns}	0,74*
a ⁽¹⁾	-0,34 ^{ns}	0,19 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,61 ^{ns}	0,66 ^{ns}
k ⁽²⁾	-0,24 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,73*	-0,64 ^{ns}	0,88**
n ⁽²⁾	-0,28 ^{ns}	0,47 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	0,33 ^{ns}	-0,76*	0,63 ^{ns}
P-rem ⁽³⁾	0,28 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,68*	0,51 ^{ns}	-0,80*
Argila	-0,06 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,65 ^{ns}	-0,53 ^{ns}	0,64 ^{ns}
EU ⁽⁴⁾	-0,16 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,77*	-0,59 ^{ns}	0,75*
Solos menos intemperizados						
CMAP	0,38 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,87**	-0,16 ^{ns}	0,75*
a	-0,03 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,67*	0,57 ^{ns}	-0,42 ^{ns}	0,92**
k	0,29 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,83**	-0,24 ^{ns}	0,80*
n	-0,63 ^{ns}	-0,46 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,77*
P-rem	-0,32 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-0,84**	0,14 ^{ns}	-0,81**
Argila	0,53 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,93**	-0,24 ^{ns}	0,63 ^{ns}
EU	0,61 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,94**	-0,25 ^{ns}	0,53 ^{ns}
Todos os solos						
CMAP	0,18 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,75**	-0,32 ^{ns}	0,75**
a	-0,26 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,67**	0,62**
k	0,03 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,63**	-0,53*	0,85**
n	-0,39 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	0,21 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,75**	0,61**
P-rem	-0,09 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,67**	0,38 ^{ns}	-0,80**
Argila	0,30 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,77**	-0,39 ^{ns}	0,64**
EU	0,56*	0,55*	-0,02 ^{ns}	0,92**	-0,11 ^{ns}	0,43 ^{ns}

⁽¹⁾ Parâmetros da isoterma de Langmuir, sendo que CMAP é a capacidade máxima de adsorção de fosfato e α é a constante relacionada à energia de adsorção. ⁽²⁾ Constantes da isoterma de Freundlich. ⁽³⁾ Fósforo remanescente (Alvarez V. et al., 2000). ⁽⁴⁾ Equivalente de umidade. ns, * e **: não significativo, significativos a 5 e 1 %, respectivamente.

CONCLUSÕES

1. O extrator M-3 foi o que extraiu mais P dos solos e o B-1 o que extraiu menos, independente da dose de P aplicada e do grau de intemperismo do solo. Os extratores M-1 e RTI extraíram teores semelhantes de P quando se aplicaram pequenas doses de P aos solos. Nas duas maiores doses, a RTI extraiu mais P dos solos que o M-1.

2. Para os extratores M-1, M-3 e B-1, a taxa de recuperação do P aplicado ao solo variou inversamente com o FCP. Para a RTI e a planta, a taxa de recuperação do P aplicado ao solo não se correlacionou com o FCP.

3. Ao contrário do que foi verificado para a RTI, os níveis críticos de P no solo pelos extratores M-1, M-3 e B-1 e os níveis críticos de P na planta não se correlacionaram com características do solo relacionadas com o FCP.

4. Em casa de vegetação, qualquer um dos extratores avaliados se mostrou eficiente para

avaliação da disponibilidade de P para plantas de milho em solos representativos do Estado da Paraíba, uma vez que o P extraído por esses extratores apresentou boa correlação com o P acumulado na planta.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG, SBCS/UFV/DPS, 1996. p.615-646.
- ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Calagem. In: Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H., eds. Viçosa, MG, CFSEMG, 1999. p.43-60.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. SBCS, 25:27-32, 2000.

- 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 Latossolo do planalto central com diferentes características texturais e mineralógicas. R. Bras. Ci. Solo, 7:221-226, 1983.
- BEDIN, I.; RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; MENDONÇA, L.A. & VILELA, L.C.S. Fontes de fósforo e crescimento do milho em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. Ci. Agrotec., Edição Especial, p.1522-1531, 2003.
- BONFIM, E.M.S.; FREIRE, F.J.; SANTOS, M.V.F.; SILVA, T.J.A. & FREIRE, M.B.G.S. Níveis críticos de fósforo para *Brachiaria brizantha* e suas relações com características físicas e químicas em solos de Pernambuco. R. Bras. Ci. Solo, 28:281-288, 2004.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. R. Ceres, 21:73-85, 1974.
- BRASIL, E.D. & MURAOKA, T. Extratores de fósforo em solos da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados. R. Bras. Ci. Solo, 21:599-606, 1997.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisas e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. I. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. II. Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro, 1972. 683p. (Boletim Técnico, 15; SUDENE. Série Pedologia, 8)
- BRAY, R.H., & KURTZ, L.T. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci., 59:39-45, 1945.
- CAMPELLO, M.R.; NOVAIS, R.F.; FERNANDEZ, I.E.R.; FONTES, M.P.F. & BARROS, N.F. Avaliação da reversibilidade de fósforo não-lábil para lábil em solos com diferentes características. R. Bras. Ci. Solo, 18:157-165, 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FABRES, A.S.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. & CORDEIRO, A.T. Níveis críticos de diferentes frações de fósforo em plantas de alface cultivadas em diferentes solos. R. Bras. Ci. Solo, 11:51-57, 1987.
- FARIAS, D.R. Adsorção e disponibilidade de fósforo em solos representativos do Estado da Paraíba. Areia, Universidade Federal da Paraíba, 2007. 51p. (Tese de Mestrado)
- FIXEN, P.E. & GROVE, J.H. Testing soils for phosphorus. In: WESTERMAN, R.L., ed. Soil testing and plant analysis. Madison, Soil Science Society of America, 1990. p.141-180.
- FONSECA, D.M.; ALVAREZ V., V.H.; NEVES, J.C.L.; GOMIDE, J.A.; NOVAIS, R.F. & BARROS, N.F. Níveis críticos de fósforo em amostras de solos para o estabelecimento de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa*. R. Bras. Ci. Solo, 12:49-58, 1988.
- FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F. & NEVES, J.C.L. Níveis críticos de fósforo para o crescimento do estilozantes como função do fator capacidade de fósforo do solo. R. Ceres, 32:488-499, 1985.
- GJORUP, G.B.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Avaliação do método do papel aniônico como extrator de fósforo disponível do solo. R. Bras. Ci. Solo, 17:417-422, 1993.
- GONZÁLEZ, J.V.; CAJUSTE, L.J.; SANTOS, A.T. & REYES, F.G. Correlación y calibración de soluciones extractantes del fósforo aprovechable em Andisoles de la Sierra Tarasca. Terra, 17:287-291, 2000.
- KAMINSKI, J. & PERUZZO, G. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Santa Maria, SBRS/NRS, 1997. 31p. (Boletim Técnico, 3)
- KAMPRATH, E.J. & WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.J., eds. The role phosphorus in agriculture. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1980. p.433-469.
- LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região Centro-Oeste. In: OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S. & GOEDERT, W., eds. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, Embrapa-DID, 1982. p.201-239.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Melich 2 extractant. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 15:1409-1416, 1984.
- MELLO, J.W.V.; RIBEIRO, A.C.; NOVAIS, R.F. & ALVAREZ V., V.H. Concentrações críticas de fósforo em plantas de arroz cultivadas em solos inundados. R. Bras. Ci. Solo, 17:211-216, 1993.
- MIOLA, G.R.; TEDESCO, M.J.; BISSANI, C.A.; GIANELLO, C. & CAMARGO, F.A.O. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para a cultura do milho. Pesq. Agropec. Bras., 34:813-819, 1999.
- MOREIRA, A. & MALAVOLTA, E. Fontes, doses e extratores de fósforo em alfafa e centrosema. Pesq. Agropec. Bras., 36:1519-1527, 2001.
- MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Níveis críticos de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 9:237-243, 1985.
- MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; FREIRE, F.M.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação avaliadas por meio de extratores químicos e do crescimento de soja em amostras de solo com diferentes valores do fator capacidade. R. Ceres, 34:125-151, 1987.
- NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & MUNIZ, A.S. Níveis críticos de fósforo em diferentes solos e extratores químicos para o crescimento de mudas de eucalipto. Acta For. Bras., 2:64-80, 1987.
- NOVAIS, R.F. & KAMPRATH, E.J. Phosphorus supplying capacities of previously heavily fertilized soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 42:931-935, 1978.

- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NOVELINO, J.O.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; COSTA, L.M. & BARROS, N.F. Solubilização de Fosfato-de-Araxá, em diferentes tempos de incubação, com amostras de cinco Latossolos, na presença e na ausência de calagem. R. Bras. Ci. Solo, 9:13-22, 1985.
- OLIVEIRA, F.H.T.; LEAL, J.V.; SANTOS, D.J.; FARIAS, D.R. & ARRUDA, J.A. Banco de Solos Representativos do Estado da Paraíba. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., Aracaju, 2006. Anais. Aracaju, SBCS, 2006. CD-ROM.
- OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NEVES, J.C.L. Comparisons of phosphorus availability between anion exchange resin and Mehlich-1 extractions among Oxisols with different capacity factors. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 31:615-630, 2000.
- OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. Difusive supply of phosphorus in relation to soil textural variations. J. Soil Sci., 110:318-327, 1970.
- PROGRAMA DE ANÁLISE DE QUALIDADE DE LABORATÓRIOS DE FERTILIDADE - PAQLF. Disponível em: <<http://www.cnps.EMBRAPA.br/paqlf/hp/index.cfm>>. Acesso em 10/08/2006.
- PAVAN, M.A. & CHAVES, J.C.D. Alterações nas frações de fósforo no solo associadas com a densidade populacional de cafeeiros. R. Bras. Ci. Solo, 20:251-256, 1996.
- RAIJ, B.van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, Ceres/Potafos, 1991. 343p.
- RAIJ, B.van.; FEITOSA, C.T. & SILVA, N.M. Comparação de quatro extratores de fósforo nos solos. Bragantia, 43:17-29, 1984.
- RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p.
- ROSSI, C. & FAGUNDES, J.L. Determinação do teor de fósforo em solos por diferentes extratores. R. Agric., 73:215-227, 1998.
- ROSSI, C.; ANJOS, A.R.M.; CAMARGO, M.S.; WEBER, O.L.S.; IMHOFF, S. & MALAVOLTA, E. Efeito residual de fertilizantes fosfatados para o arroz: Avaliação do fósforo na planta e no solo por diferentes extratores. Sci. Agric., 56:39-46, 1999.
- SANTOS, E.A. & KLIEMANN, H.J. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de Cerrado e sua avaliação por extratores químicos. Pesq. Agropec. Trop., 35:139-146, 2005.
- SILVA, F.C. & RAIJ, B.van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. Pesq. Agropec. Bras., 34:267-288, 1999.
- SILVA, F.C. & RAIJ, B.van. Avaliação da disponibilidade de fósforo, por diversos extratores, em amostras de solos cultivados com cana-de-açúcar. R. Bras. Ci. Solo, 20:83-90, 1996.
- SILVA, W.M.; FABRÍCIO, A.C.; MARCHETTI, M.E.; KURIHARA, C.H.; MAEDA, S. & HERNANI, L.C. Eficiência de extratores de fósforo em dois Latossolos do Mato Grosso do Sul. Pesq. Agropec. Bras., 34:2277-2285, 1999.
- SKOGLEY, O. & DOBERMANN, A. Synthetic ion-exchange resins: Soil and environmental studies. J. Environ. Quality, 25:13-24, 1996.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solos, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- TRAN, T.S.; GIROUX, M.; GUILBEAUT, J. & AUDESS, P. Evaluation of Mehlich-III extractant to estimate the available P in Quebec Soils. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 21:1-28, 1990.