



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA**

**ADSORÇÃO E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS**  
**REPRESENTATIVOS DO ESTADO DA PARAÍBA**

**DAISE RIBEIRO DE FARIAS**

**AREIA – PB**  
**MAIO – 2007**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**DAISE RIBEIRO DE FARIAS**

**ADSORÇÃO E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS  
REPRESENTATIVOS DO ESTADO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências para obtenção do título de “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

**AREIA – PB**


**MAIO – 2007**

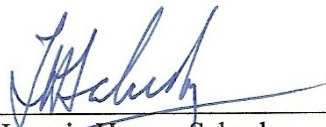
**DAISE RIBEIRO DE FARIAS**

**ADSORÇÃO E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS  
REPRESENTATIVOS DO ESTADO DA PARAÍBA**

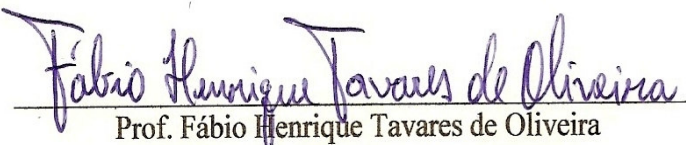
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências para obtenção do título de “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

Dissertação aprovada em: 24 / 05 / 2007

  
Prof. Clístenes Williams Araújo do Nascimento  
(DEPA/UFRPE)

  
Prof. Ignacio Hernan Salcedo  
(DEN/UFPE)

  
Prof. Djáil Santos  
(CCA/UFPB)

  
Prof. Fábio Henrique Tavares de Oliveira  
(CCA /UFPB)  
Orientador

Ficha Catalográfica elaborada na Seção de Processos Técnicos da Biblioteca  
Setorial de Areia-PB, CCA/UFPB.  
Bibliotecária: Márcia Maria Marques CRB4 – 1409

F224a Farias, Daise Ribeiro de

Adsorção e disponibilidade de fósforo em solos representativos do  
Estado da Paraíba./ Daise Ribeiro de Farias. – Areia:  
PPGMSA/CCA/UFPB, 2007.  
51f.: il.

Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) pelo Centro de  
Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba.  
Orientador: Fábio Henrique Tavares de Oliveira.

1. Solos - fósforo. 2. Fósforo - adsorção e disponibilidade. 3. Adsorção e  
disponibilidade - fósforo. 4. Isoterma de Langmuir. I. Oliveira, Fábio  
Henrique Tavares de (Orient.). II. Título.

CDU: 631.414.3(043.3)

*Aos meus familiares, pelas angústias que passaram por minha causa e por terem suportado com paciência as minhas falhas e os momentos de ausência.*

*Ao meu eterno amor, José Marinho Sobrinho Júnior, e toda a sua família, pelo carinho e atenção com que sempre me trataram e pelo apoio que sempre me ofereceram.*

*Ao meu filho, Bruno Vinícius, presente de Deus.*

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, Supremo Criador, que concedeu-me a graça de superar os obstáculos e conquistar esta vitória tão almejada.

Aos meus familiares e amigos pelo apoio e estímulo, e por terem compreendido os momentos de ausência.

Ao professor Fábio Henrique Tavares de Oliveira, pela orientação, paciência, carinho e atenção com que sempre me acolheu e por ser responsável pelos conhecimentos que adquiri durante a elaboração deste precioso trabalho.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, em especial, a Professora Vânia da Silva Fraga e a Secretária Rosa Cláudia pelo carinho, paciência e compreensão.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

A todos os Professores do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, pela grande contribuição na minha formação profissional: Fábio Henrique Tavares de Oliveira, Ivandro de França da Silva, Adailson Pereira de Souza, Djail Santos, Lourival Ferreira Cavalcante, Vânia da Silva Fraga, Roberto Wagner Cavalcanti Raposo, Francisco Assis de Oliveira, Walter Esfrain Pereira.

Ao professor Maurício Fontes (UFV) por ter realizado as análises mineralógicas.

Aos bolsistas do PIBIC, Jandeilson e Josivan, pelo auxílio na coleta das amostras em campo e na condução do experimento.

À Jailma, pelo auxílio na condução do experimento e nas análises químicas.

Aos laboratoristas pelo auxílio na realização das análises químicas.

Aos amigos da Vila do Onildo: Lindhiane, Sâmara, Josely, Iane, João Paulo, Ariosto, Verônica e Maxuel pelo respeito, força e amizade construídas durante o tempo de convivência.

Aos colegas da Pós-Graduação: Iane, Jailma, Hemmannuella, Gilson, Adilson, Gasparino, Thelmo, Jânio, Geocleber, Patrócolo, Alisson, pelos bons momentos que compartilhamos.

A todos os amigos e familiares que direta e indiretamente ajudaram na realização deste trabalho.



## **BIOGRAFIA**

DAISE RIBEIRO DE FARIAS, filha de Francisco de Assis de Farias (“in memoriam”) e Maria das Neves Ribeiro de Farias, nasceu em Esperança, PB, em 13 de maio de 1979.

Graduou-se em Química Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba em setembro de 2004. Em março de 2005 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO .....	ix
SUMMARY .....	xi
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>3</b>
<b>CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS REPRESENTATIVOS DO ESTADO DA PARAÍBA</b> .....	<b>3</b>
1. INTRODUÇÃO .....	3
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	6
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	9
4. CONCLUSÕES .....	18
5. LITERATURA CITADA .....	19
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>22</b>
<b>DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO PARA PLANTAS DE MILHO EM SOLOS REPRESENTATIVOS DA PARAÍBA AVALIADA POR DIFERENTES EXTRATORES</b> .....	<b>22</b>
1. INTRODUÇÃO .....	22
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	26
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
4. CONCLUSÕES .....	47
5. LITERATURA CITADA .....	48

## RESUMO

FARIAS, Daise Ribeiro de, M. Sc. Universidade Federal da Paraíba, maio de 2007. **Adsorção e disponibilidade de fósforo em solos representativos do Estado da Paraíba.** Orientador: Professor Fábio Henrique Tavares de Oliveira. Examinadores: Professores Clístenes Williams Araújo do Nascimento, Ignácio Hernan Salcedo e Djail Santos.

Conhecer a capacidade de adsorção de P dos solos do Estado da Paraíba e os fatores que a influenciam, bem como a avaliação de sua disponibilidade por diferentes extratores, são fundamentais para a melhoria das práticas de avaliação e correção da fertilidade dos solos do Estado. Objetivou-se com este trabalho: a) avaliar a capacidade máxima de adsorção de P em solos representativos do Estado da Paraíba e a sua correlação com características químicas e físicas do solo, e b) 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. Foram utilizadas amostras de doze solos de diferentes regiões do Estado, sendo seis solos muito intemperizados e seis pouco intemperizados, apresentando variação de características químicas e físicas dentro de cada grupo. Para avaliar a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), os valores de quantidade de P adsorvido ao solo e de concentração de P na solução de equilíbrio foram ajustados à isoterma de Langmuir. O modelo hiperbólico da isoterma de Langmuir ajustado por meio da técnica de regressão não-linear apresentou melhor ajuste aos dados observados, em comparação a este modelo ajustado por meio da técnica de linearização. A CMAP dos solos do Estado da Paraíba variou de 0,0360 mg g<sup>-1</sup> no Neossolo Regolítico a 0,4353 mg g<sup>-1</sup> no Vertissolo Háplico. Os valores de CMAP dos solos do Estado da Paraíba são muito menores que aqueles encontrados em solos de outros Estados do Brasil. Os valores de CMAP dos solos muito intemperizados apresentaram correlação elevada com o teor de óxido de ferro livre ( $r = 0,90^{**}$ ), mas não se correlacionaram com o teor de argila ( $r = 0,64^{ns}$ ). Dentro do grupo de solos pouco intemperizados, os valores de CMAP se correlacionaram com o teor de argila ( $r = 0,97^{**}$ ), mas não se correlacionaram com o teor de óxido de ferro livre ( $r = 0,10^{ns}$ ). Quanto à avaliação da disponibilidade de P em solos, o

experimento foi montado no delineamento de blocos casualizados com três repetições e 60 tratamentos (12 solos x 5 doses de P), totalizando 180 unidades experimentais. Foram ajustadas equações de regressão linear simples que estimam os teores de P recuperados pelos extratores e pela planta em função das doses de P aplicadas. A eficiência de cada extrator foi avaliada por meio de análises de regressão, nas quais a produção de matéria seca e o conteúdo de P foram considerados como variáveis dependentes do teor de P no solo extraído pelos quatro extratores. O extrator Mehlich-3 foi o que extraiu mais P dos solos e o Bray-1 o que extraiu menos, independente da dose de P aplicada e do grau de intemperismo do solo. Os extratores Mehlich-1 e resina extraíram quantidades semelhantes de P quando se aplicaram pequenas doses de P aos solos. Nas duas maiores doses a resina extraiu mais P dos solos que o Mehlich-1. Para os extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1, a taxa de recuperação do P aplicado ao solo variou inversamente com o FCP. Para a resina e a planta, a taxa de recuperação do P aplicado ao solo não se correlacionou com o FCP. Ao contrário do que foi verificado para a resina, os níveis críticos de P no solo pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1 e os níveis críticos de P na planta não se correlacionaram com características do solo relacionadas com o FCP, contrariando a maioria dos trabalhos sobre o assunto na literatura. Qualquer um dos extratores avaliados pode ser utilizado para avaliação da disponibilidade de P para as plantas em solos representativos do Estado da Paraíba.

Palavras-chave: isoterma de Langmuir, fator capacidade de fósforo, extratores de fósforo, resina de troca iônica

## SUMMARY

FARIAS, Daise Ribeiro de, M.Sc. Universidade Federal da Paraíba, May 2007. **Phosphorus adsorption and availability in the soils representing the Paraíba State.** Adviser: Fábio Henrique Tavares de Oliveira. Examination committee: Clístenes Williams Araújo do Nascimento, Ignácio Hernan Salcedo and Djail Santos.

The knowledge of either P adsorption capacity in the soils at Paraíba State and the factors affecting it, as well as the evaluation of its availability by different extractors are fundamentally important for the improvement of the evaluation and soil fertility correction practices in the State. So, this study was carried out with the following objectives: a) to evaluate the maximum adsorption capacity of P in those soils representative for Paraíba State and its correlation with chemical and physical characteristics of the soil; and b) to evaluate the efficiency of the extractors Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 and the mixed ion-exchange resin in quantifying the P available to maize plants in soils representing the Paraíba State. Samples of twelve soils from different areas in the State were used. Six soils were highly weathered whereas six ones were slightly weathered, as showing variation in both chemical and physical characteristics within each group. To evaluate the maximum adsorption capacity of P (CMAP), the values of either P amount adsorbed to the soil and P concentration in the equilibrium solution were adjusted to Langmuir isotherm. The hyperbolic Langmuir isotherm model that was adjusted by non-linear regression technique showed better adjustment to the data, compared to this model adjusted by linearization technique. The CMAP of the soils in Paraíba State ranged from 0.0360 mg g<sup>-1</sup> in the Psamment to 0.4353 mg g<sup>-1</sup> in the Vertisol. The soil CMAP values in Paraíba State are much lower than those found at other Brazilian States. The CMAP values of the highly weathered soils showed high correlation with the content of the free iron oxide ( $r = 0.90 * *$ ), but were not correlated with the clay content ( $r = 0.64^{ns}$ ). Within the slightly weathered soil group, the CMAP values were correlated with clay content ( $r = 0.97 * *$ ), but showed no correlation with the content of the free iron oxide ( $r = 0.10^{ns}$ ). Concerning to evaluation of the P availability in soils, the randomized block experimental design was used, with three replications and 60 treatments

(12 soils x 5 P doses), so totaling 180 experimental units. Simple lineal regression equations estimating the P contents recovered by both extractors and plant were adjusted as a function of the P doses applied. The efficiency of each extractor was evaluated by regression analyses, in which the dry matter yield and P content were considered as variables depending from P content in the soil extracted by four extractors. The extractor Mehlich-3 extracted higher P quantity from the soils, whereas Bray-1 extracted less, independent from the P dose applied and soil weathering degree. The extractors Mehlich-1 and resin extracted similar P amounts, when low P doses were applied to the soils. At two higher doses, the resin extracted more P amounts from the soils than Mehlich-1. For the extractors Mehlich-1, Mehlich-3 and Bray-1, the recovery rate of P applied to the soil inversely varied with FCP. For both resin and plant, the recovery rate of P applied to the soil was not correlated with FCP. Otherwise, the critical soil P levels recovered by the extractors Mehlich-1, Mehlich-3 and Bray-1 and the critical plant P levels showed no correlation with the soil characteristics related to FCP, therefore contradicting most works on the subject in the available literature. Anyone of those extractors can be used for evaluation of the P availability to the plants in soils representing the Paraiba State.

Key words: Langmuir isotherm, phosphorus capacity factor, phosphorus extractant, ion change resin.

## INTRODUÇÃO GERAL

Na maioria dos solos tropicais, o suprimento natural de P é insatisfatório ao adequado crescimento das plantas. Muitos solos tropicais com grau avançado de intemperismo e até mesmo os pouco intemperizados, apesar de apresentar teores totais de P não muito baixos, mostram-se deficientes em P disponível, pela baixa solubilidade das principais formas de P encontradas nesses solos e pela forte interação do fosfato com o solo (Rolim Neto et al., 2004). Apesar do P ser um dos macronutrientes exigidos pelas plantas em menor quantidade, é considerado um dos mais limitantes da produtividade da maioria das culturas nos solos fortemente intemperizados, onde há o predomínio das formas inorgânicas de P ligadas à fração mineral (com alta energia) e formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente. Tal nutriente tem tendência a formar compostos de baixa solubilidade em solos, onde se encontra ligado, em diferentes combinações, a ferro, alumínio, cálcio, matéria orgânica e outros elementos.

A determinação do teor de P disponível no solo está entre as principais análises químicas utilizadas para avaliação da fertilidade do solo e recomendação de adubação. A avaliação da disponibilidade de P em um solo é complexa, porque a disponibilidade desse nutriente é resultante da ação integrada dos fatores Intensidade (I), Quantidade (Q) e Capacidade Tampão (FCP) desse nutriente no solo. O teor de P indicado nas análises químicas de solo feitas na maioria dos laboratórios de rotina do país fornece uma idéia apenas do valor Q, de modo que para a correta interpretação da capacidade de suprimento de P para as plantas se faz necessário o conhecimento do FCP do solo, que pode ser estimado a partir de características do solo que se correlacionam com o FCP, como teor de argila e fósforo remanescente.

Há muito tempo que a adsorção e disponibilidade de P no solo vem sendo estudada em várias regiões do Brasil (Novais & Smyth, 1999). Entretanto, na região Nordeste do Brasil são

poucos os estudos do comportamento desse nutriente no solo, especialmente no Estado da Paraíba, onde não se tem registros de pesquisas que buscam entender a dinâmica e disponibilidade de P nos solos. Nesse sentido, a realização de estudos sobre a adsorção e disponibilidade de P em solos representativos do Estado da Paraíba com diferentes graus de intemperismo contribuirá para melhoria das práticas de avaliação e correção da fertilidade do solo.

A avaliação do P disponível às plantas tem sido feita com o uso de soluções extratoras com características e princípios de extração diversos (acidez, diluição, tamponamento, presença de compostos complexantes) (Novais & Smith, 1999; Silva & Rajj, 1999). Os teores de P disponível fornecem valores que variam entre intensidade (I) e quantidade (Q), às vezes, até mesmo parte do P não lábil (NQ), dependendo das propriedades do extrator e das condições de extração, sem informar sobre o fator capacidade (Q/I). A eficiência desses métodos depende das proporções das diferentes formas de P inorgânico (P-Ca, P-Fe e P-Al) do solo e do acesso do extrator a essas formas (Gatiboni, 2003). Embora a avaliação da disponibilidade de P em um solo seja complexa, estudos conduzidos com diversos extratores de P têm demonstrado que as diferentes composições desses extratores influenciam a capacidade de predição do P disponível do solo, podendo subestimar o P disponível em um solo e superestimar em outro, em função do FCP dos solos.

Os extratores químicos, assim como a resina de troca iônica, utilizados em análises de rotina, extraem parte da reserva de P do solo, constituída de P lábil e P não lábil e, havendo bom relacionamento entre a quantidade de P extraída por esses extratores e o crescimento vegetal ou conteúdo de P na planta, são denominados extratores de P disponível.

Este trabalho teve como objetivos: a) avaliar a capacidade máxima de adsorção de P em solos representativos do Estado da Paraíba e sua correlação com características químicas e físicas do solo, e b) avaliar a eficiência dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e resina de troca iônica na quantificação do P disponível para plantas de milho em solos representativos do Estado da Paraíba.



## **CAPÍTULO 1**

### **CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS REPRESENTATIVOS DO ESTADO DA PARAÍBA**

#### **1. INTRODUÇÃO**

O solo pode assumir o papel de fonte ou de dreno de P, quando apresentar boa capacidade de suprimento de P às plantas ou quando competir excessivamente com estas, fixando a maioria do P adicionado ao solo. Com o aumento do intemperismo, principalmente em condições tropicais, os solos mudam de fonte para dreno, tornando-se mais eletropositivos e com grande capacidade de adsorver ânions, como os fosfatos. Nesse contexto, destacam-se os Latossolos que são bastante intemperizados, ácidos e muito pobres em P disponível. Em certos casos, como nos Latossolos argilosos do Cerrado brasileiro, o solo pode adsorver mais de 2.000 mg dm<sup>-3</sup> de P, o que equivale a 4.000 kg ha<sup>-1</sup> de P, ou seja, 9.200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, incorporado na camada de 0-20 cm de profundidade. Metade deste valor pode ser fixada (P não lábil) em apenas um mês de contato do P com o solo (Novais & Smyth, 1999).

A adsorção de fósforo é um fenômeno comum em todos os solos. Na Paraíba se encontram desde solos pouco intemperizados, como os Neossolos Litólicos, até solos muito intemperizados, como os Latossolos (Brasil, 1972), com diferentes capacidades de adsorção de P. Quando se adiciona uma dose de P ao solo, imediatamente começam as reações de adsorção e de precipitação do P adicionado, sendo que em solos ácidos e muito intemperizados uma parte

desse P é adsorvida à superfície dos minerais secundários da fração argila (principalmente óxidos de ferro e de alumínio) e outra parte precipita com íons  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  presentes na solução do solo. Em solos poucos intemperizados e de pH variando de neutro a alcalino, a exemplo de muitos solos do Semi-árido Nordeste, parte desse P adicionado é adsorvida à superfície dos minerais secundários da fração argila (com maior presença de minerais do tipo 2:1 e quantidade muito pequena de óxidos de ferro e de alumínio) e a outra parte precipita com o  $\text{Ca}^{2+}$  da solução do solo, cuja concentração tende a ser elevada nesses solos. Na prática, não é possível separar as reações de adsorção das de precipitação de P no solo, de modo que ao conjunto dessas reações químicas tem sido dado o nome de “retenção” ou “fixação” de P no solo, sendo bastante utilizadas as isotermas de adsorção de Langmuir e de Freundlich para descrever a fixação de P no solo (Novais & Smyth, 1999). A fixação de P no solo é maior em solos mais intemperizados e se correlaciona positivamente com o fator capacidade de P (FCP) do solo e com características do solo que refletem o FCP, como teor de argila e fósforo remanescente (P-rem).

São muitos os trabalhos na literatura que utilizam isotermas de adsorção para estudar o fenômeno de fixação (adsorção e/ou precipitação) de P nos mais variados tipos de solos (Moreira et al., 2006; Rolim Neto et al., 2004; Falcão & Silva, 2004; Pereira & Faria, 1998; Boschetti et al., 1998; Kuo, 1990). Isotermas de adsorção são equações matemáticas usadas para descrever, quantitativamente, a adsorção de solutos por sólidos, a temperaturas constantes (Alleoni et al., 1998). Essas equações descrevem as relações entre a quantidade de determinado elemento químico adsorvido e sua quantidade remanescente na solução de equilíbrio (Dias et al., 2001; Novais & Smyth, 1999; McBride, 1994).

Dentre as isotermas de adsorção mais utilizadas, destaca-se a de Langmuir. A equação de Langmuir tornou-se mais atrativa por permitir a estimativa de um parâmetro quantitativo, que representa a capacidade máxima de adsorção de fosfato pelo solo, e um qualitativo, que expressa a constante relacionada com a energia de adsorção (Soares et al., 2006). Olsen & Watanabe (1957) foram os primeiros pesquisadores a utilizarem a equação de Langmuir para descrever a adsorção de fosfato em solos. A equação de Langmuir, inicialmente utilizada para descrever a adsorção de gases por sólidos, baseia-se em três suposições: 1) a superfície de adsorção é homogênea, isto é, a adsorção é constante e independente da extensão da cobertura da superfície; 2) a adsorção ocorre em sítios específicos, sem interação com as moléculas do soluto; 3) a adsorção torna-se máxima quando uma camada monomolecular cobre totalmente a superfície do adsorvente (Soares et al., 2006; Dias et al., 2001).

A isoterma de Langmuir, em sua forma hiperbólica, é descrita pela equação matemática  $Q = \frac{abC}{1 + aC}$ , onde C é a concentração de P na solução de equilíbrio ( $\text{mg L}^{-1}$ ), Q a

quantidade de P adsorvido ao solo ( $\text{mg g}^{-1}$ ),  $b$  a capacidade máxima de adsorção de P ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e  $a$  a constante relacionada com a energia de adsorção ( $\text{L mg}^{-1}$ ) de P ao solo. A forma linear da isoterma de Langmuir é a seguinte:  $C/Q = 1/ab + C/b$ , onde a declividade ( $1/b$ ) e o intercepto ( $1/ab$ ) são usados para calcular a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) e a constante relacionada com a energia de adsorção de P.

Outra equação utilizada para descrever a adsorção de P no solo é a de Freundlich, na qual a energia de adsorção decresce logaritmicamente, à medida que a superfície vai sendo coberta pelo soluto, o que a diferencia da equação de Langmuir. A equação de Freundlich, desenvolvida sem base teórica, aplica-se muito bem para sólidos com propriedade de superfícies heterogêneas (Stumm, 1992). Sua forma exponencial é expressa por  $Q = kC^{1/n}$ . Sua forma linear é expressa por  $\log Q = \log k + (1/n) \log C$ , em que o parâmetro  $1/n$  é a declividade e  $\log k$  é o intercepto, os quais são utilizados para calcular os valores  $n$  e  $k$  (Soares et al., 2006).

Estudos têm relacionado a CMAP dos solos com o teor de argila e superfície específica (Rolim Neto et al., 2004; Valladares et al., 2003; Pereira & Faria, 1998; Moughli et al., 1993; Singh & Gilkes, 1991; Singh et al., 1983; Bahia Filho, 1982), pH (Sato & Comerford, 2005; Pereira & Faria, 1998; Ernani et al., 1996; Singh et al., 1983), teor de matéria orgânica (Moreira et al., 2006; Andrade et al., 2003; Berton & Pratt, 1997; Pereira & Faria, 1998; Hepper et al., 1995; Guilherme et al., 1993; Singh et al., 1983; Bahia Filho, 1982), alumínio trocável (Falcão & Silva, 2004; Pereira & Faria, 1998; Singh et al., 1983) e equivalente de umidade (Muniz et al., 1987; Bahia Filho, 1982). Estudando a adsorção de P em Latossolos com diferentes mineralogias, Motta et al. (2002) constataram que não houve correlação significativa entre o teor de argila e a CMAP. Neste caso, ocorre uma predominância da influência da mineralogia da fração argila dos solos na adsorção de P, sendo que a adsorção aumenta com o caráter oxidico dos solos. Boschetti et al. (1998) não encontraram correlação significativa entre a quantidade de argila e a constante relacionada com a energia de adsorção de P.

É conveniente ressaltar que quase todos os trabalhos de adsorção de P realizados no Brasil são voltados para solos muito intemperizados do centro-sul do país e da região amazônica (Rolim Neto et al., 2004; Falcão & Silva, 2004; Motta et al., 2002; Novais & Smyth, 1999), como os Latossolos, e poucos são os trabalhos de adsorção de P em solos do Nordeste (Moreira et al., 2006; Godinho et al., 1997). Além disso, ainda não foi desenvolvido nenhum trabalho dessa natureza em solos do Estado da Paraíba. Como no Estado na Paraíba ocorre grande variedade de solos, é necessário realizar estudos de adsorção de P envolvendo solos representativos do Estado (Oliveira et al., 2006), e que apresentem ampla variação de características químicas e físicas e de graus de intemperismo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de adsorção de P em solos representativos do Estado da Paraíba e verificar a sua correlação com características químicas e físicas do solo, tendo em vista a melhoria das práticas de avaliação e correção da fertilidade desses solos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras dos doze solos pertencentes ao Banco de Solos Representativos do Estado da Paraíba, sendo seis solos muito intemperizados ( $K_i \leq 2,46$ ) e seis solos pouco intemperizados ( $K_i > 2,46$ ), representando 11 subordens do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Oliveira et al., 2006). Dentro de cada grupo de seis solos, os mesmos apresentavam ampla variação de características químicas, físicas e mineralógicas. As amostras foram destorroadas, secas ao ar, passadas por peneira de 2 mm de malha e caracterizadas química e fisicamente (Quadro 1), conforme EMBRAPA (1997). O fósforo remanescente (P-rem) foi determinado após agitação das amostras de solo durante cinco minutos com uma solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$  contendo 60 mg  $\text{L}^{-1}$  de P e deixadas em repouso para decantação durante 16 horas (Alvarez et al. 2000).

As concentrações de P das soluções de equilíbrio utilizadas para o ajuste das isotermas de adsorção de Langmuir e Freundlich foram baseadas nos valores de P-rem dos solos (Alvarez et al., 2000) e corresponderam a 0; 4; 8; 12; 20; 30; 40; 50; 60; 70 e 80 mg  $\text{L}^{-1}$  de P (para os solos com P-rem entre 30 e 44 mg  $\text{L}^{-1}$ ) e a 0; 5; 10; 15; 25; 35; 50; 65; 80; 95 e 110 mg  $\text{L}^{-1}$  (para os solos com P-rem entre 19 e 30 mg  $\text{L}^{-1}$ ). Foram pesadas amostras de solo correspondentes a um volume de 2,5  $\text{cm}^3$  e adicionadas em erlenmeyer de 250 mL. Em seguida, adicionou-se 25 mL da solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$ , contendo P de acordo com as concentrações já mencionadas. Após agitação horizontal por 24 horas, as suspensões foram centrifugadas a 3.000 rpm durante cinco minutos e, logo em seguida, filtradas. O teor de P na solução de equilíbrio (sobrenadante) foi determinado por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974). A quantidade de P adsorvida ao solo foi estimada pela diferença entre o valor da concentração de P encontrado na solução de equilíbrio e o valor da concentração de P adicionado. Todo esse procedimento foi repetido três vezes.

Quadro 1. Características químicas e físicas dos doze solos representativos do Estado da Paraíba<sup>(1)</sup>

Característica	Solo <sup>(2)</sup>											
	Muito intemperizado						Pouco intemperizado					
	PA	PAC	PVe	PVA	LA	PVd	RR	RL	TX	SX	RY	VX
pH (H <sub>2</sub> 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.O. (g kg <sup>-1</sup> )	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 <sup>-1</sup> ) <sup>(3)</sup>	45	47	35	28	44	28	54	45	41	37	44	25
P (mg dm <sup>-3</sup> )	1,52	3,59	6,80	2,63	11,42	2,32	24,07	4,31	4,35	21,58	144,33	19,77
K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	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 <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	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 <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	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 <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	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 <sup>3+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	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 <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	16,8	56,7	27,5	55,0	21,4	42,8	10,7	22,9	29,0	15,3	12,2	7,6
t (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	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 (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	27,4	72,0	103,8	81,8	51,8	72,0	39,7	58,3	137,4	198,4	169,1	431,3
V (%)	39	21	74	33	59	41	73	61	79	92	93	98
m (%)	9	39	0	11	0	10	0	1	0	0	0	0
Areia grossa (g kg <sup>-1</sup> )	520	590	300	530	450	210	610	430	460	330	160	130
Areia fina (g kg <sup>-1</sup> )	360	250	280	130	200	280	280	380	210	310	290	90
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	30	40	240	110	60	130	80	110	190	170	350	350
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	90	120	180	230	290	380	30	80	140	190	200	430
Argila dispersa (g kg <sup>-1</sup> )	60	100	110	180	210	260	30	50	80	160	140	420
Dens. do solo (g cm <sup>-3</sup> )	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 <sup>-3</sup> )	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 <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	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 <sup>-1</sup> )	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 <sub>d</sub> <sup>(4)</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	2,34	1,32	4,01	2,84	2,71	5,60	1,04	1,11	1,32	3,16	1,64	0,96
Minerais predominantes na fração argila <sup>(5)</sup>	Ct, Gb, Gt	Ct, Gt	Ct, Gt, Mi, (2:1)	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	Mi, Ct,, (2:1)	(2:1), Qz, Mi

<sup>(1)</sup>Análises químicas, físicas e mineralógicas realizadas conforme metodologias apresentadas em EMBRAPA (1997). <sup>(2)</sup>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 Háptico; SX = Planossolo Háptico; RY = Neossolo Flúvico; VX = Vertissolo Háptico. <sup>(3)</sup>Fósforo remanescente (Alvarez V. et al., 2000). <sup>(4)</sup>Óxido de ferro livre extraído por ditionito-citrato-bicarbonato. <sup>(5)</sup>Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Gt: goethita; Mi: mica; (2:1): argilomineral tipo 2:1; Hm: hematita; Qz: quartzo; Fp: feldspatos.

Após obtenção das médias dos dados relativos à quantidade de P adsorvida ao solo ( $Q$ ) em função da concentração de P da solução de equilíbrio ( $C$ ), ajustaram-se as isotermas de Langmuir e Freundlich por meio de procedimento estatístico para ajuste de modelo de regressão não-linear (região única). Os parâmetros da isoterma de Langmuir também foram estimados por meio da linearização do modelo hiperbólico, considerando-se a região II de adsorção, bem como a região única (Novais & Smyth, 1999; Alvarez & Fonseca, 1990). Os parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich foram correlacionados com características químicas e físicas dos solos, considerando-se dois grupos de solos: o primeiro grupo era composto pelos solos muito intemperizados e o segundo pelos solos pouco intemperizados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva que representa os valores estimados por meio da técnica de regressão não-linear aproximou-se mais dos valores observados do que as curvas que representam os valores estimados por meio da técnica de linearização do modelo hiperbólico da isoterma de Langmuir, que descreve o fenômeno de adsorção de P, tanto em solos muito intemperizados (Figura 1), como em solos pouco intemperizados (Figura 2). Em todos os solos estudados, a diferença entre essas duas técnicas de ajuste foi maior para as concentrações de equilíbrio mais elevadas, de modo que a CMAP estimada pela técnica de linearização foi menor que a CMAP estimada pela técnica de regressão não-linear (Quadro 2). Quando se utilizou a técnica de linearização, o modelo ajustado considerando-se a segunda região de adsorção foi muito semelhante ao modelo ajustado considerando-se uma única região de adsorção (Figuras 1 e 2).

A técnica de linearização para estimação dos parâmetros da isoterma de Langmuir apresenta vários inconvenientes que levam a erros nas estimativas dos parâmetros dessa isoterma (Novais & Smyth, 1999; Taylor et al., 1996; Harter, 1984; Bahia Filho, 1982; Holford et al., 1974), mas foi muito útil em uma época quando não se dispunha de softwares para ajuste de modelos de regressão não-linear. Com a evolução da informática, vários softwares podem ser usados atualmente para ajustar não somente o modelo hiperbólico da isoterma de Langmuir, como também o modelo exponencial da isoterma de Freundlich, obtendo-se estimativas mais exatas dos parâmetros dessas isotermas.

No Quadro 2, são apresentados dados referentes à CMAP e à constante relacionada com a energia de adsorção, ambas obtidas mediante a utilização do método de regressão não-linear e mediante a linearização do modelo hiperbólico da isoterma de Langmuir, considerando, neste último caso, tanto a segunda região como uma única região de adsorção de P nos solos estudados.



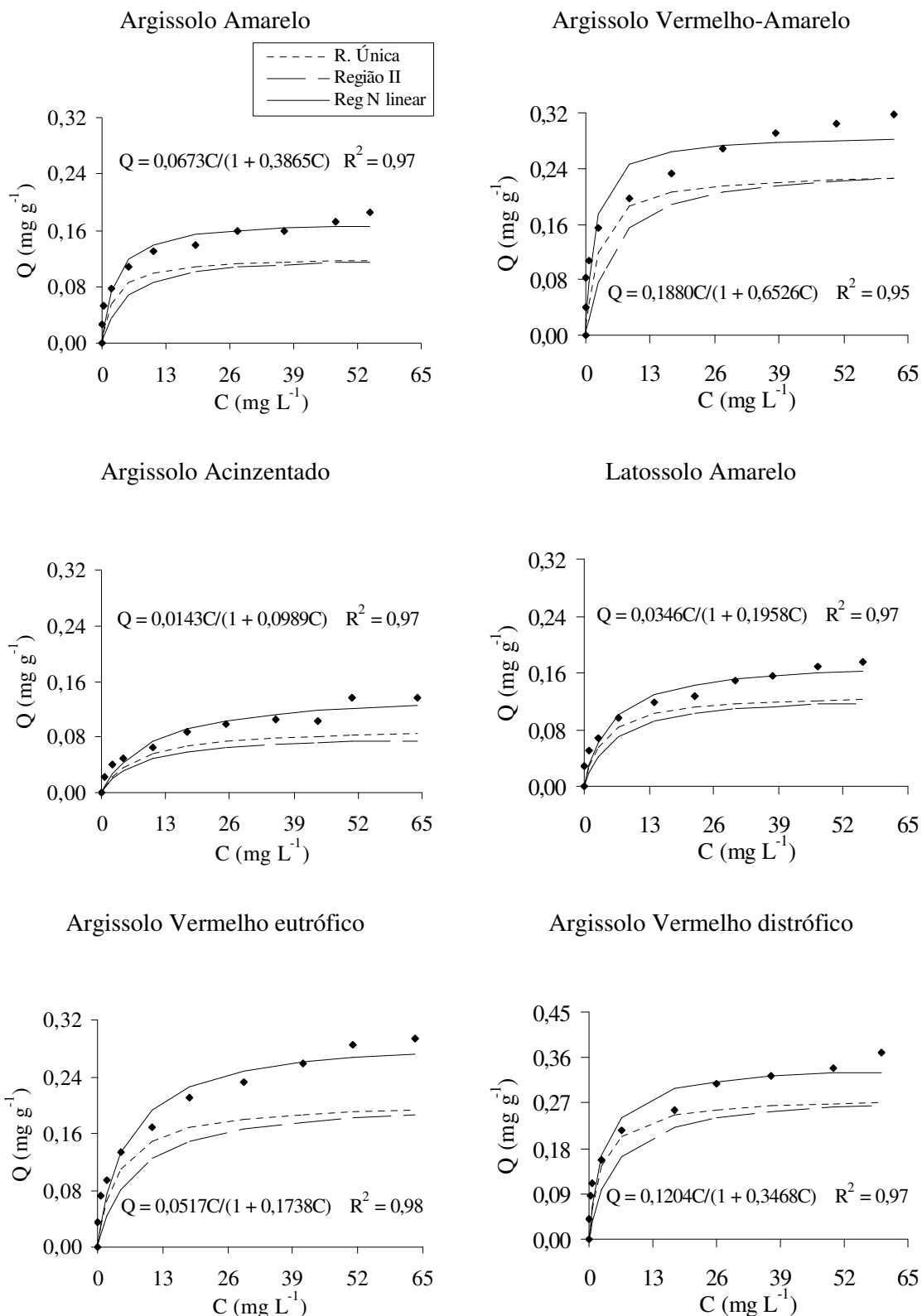


Figura 1. Ajuste do modelo hiperbólico da Isotherma de Adsorção de Langmuir por meio da técnica de regressão não-linear e da linearização do modelo hiperbólico (região única e região II), para a quantidade de P adsorvida (Q) em solos muito intemperizados representativos do Estado da Paraíba em função da concentração de P da solução de equilíbrio (C).

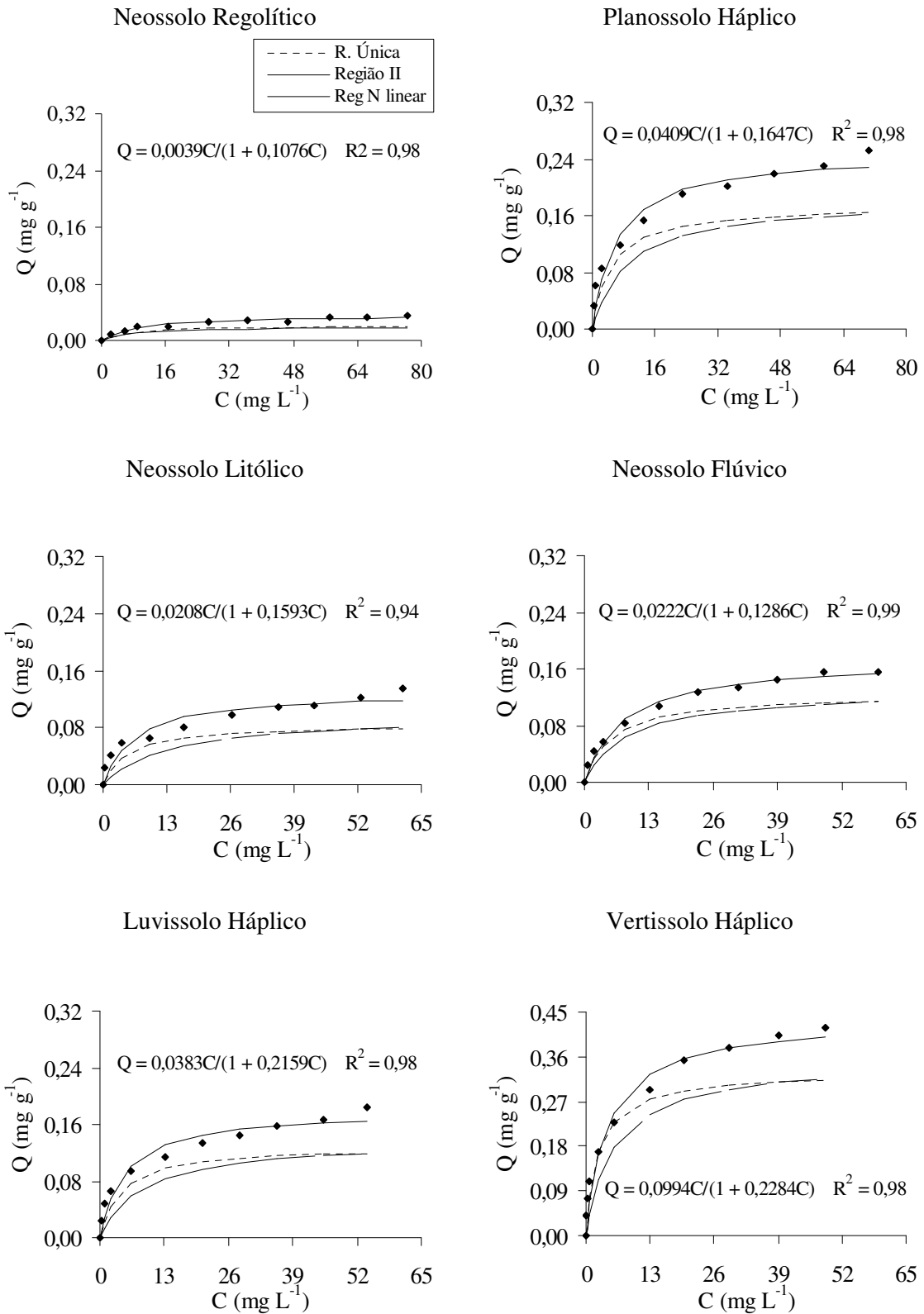


Figura 2. Ajuste do modelo hiperbólico da Isoterma de Adsorção de Langmuir por meio da técnica de regressão não-linear e da linearização do modelo hiperbólico (região única e região II), para a quantidade de P adsorvida (Q) em solos pouco intemperizados representativos do Estado da Paraíba em função da concentração de P da solução de equilíbrio (C).

Quadro 2. Parâmetros das isotermas de Langmuir e de Freundlich para solos representativos do Estado da Paraíba, estimados pelas técnicas da regressão não-linear (RNL) e da linearização (LIN)

Solo <sup>(1)</sup>	CMAP <sup>(2)</sup>			a <sup>(2)</sup>			k <sup>(3)</sup>		n <sup>(3)</sup>		
	RNL <sup>(4)</sup>	LIN-II <sup>(5)</sup>	LIN-U <sup>(6)</sup>	RNL	LIN-II	LIN-U	RNL	LIN <sup>(7)</sup>	RNL	LIN	
	----- mg g <sup>-1</sup> -----			----- L mg <sup>-1</sup> -----							
<b>Solos muito intemperizados</b>											
PA	0,1742	0,1255	0,1228	0,3865	0,2136	0,4169	0,0690	0,0665	4,1138	3,8971	
PAC	0,1448	0,0835	0,0937	0,0989	0,1359	0,1429	0,0283	0,0283	2,6522	2,6567	
PVe	0,2972	0,2063	0,2056	0,1738	0,1400	0,2464	0,0822	0,0846	3,2234	3,3411	
PVA	0,2880	0,2436	0,2337	0,6526	0,1941	0,4308	0,1173	0,1102	4,0838	3,7369	
LA	0,1768	0,1294	0,1309	0,1958	0,1724	0,2644	0,0533	0,0616	3,3762	4,1135	
PVd	0,3473	0,2877	0,2821	0,3468	0,1985	0,3941	0,1242	0,1208	3,7693	3,6232	
<b>Média</b>	<b>0,2381</b>	<b>0,1793</b>	<b>0,1781</b>	<b>0,3091</b>	<b>0,1758</b>	<b>0,3159</b>	<b>0,0791</b>	<b>0,0787</b>	<b>3,5365</b>	<b>3,5614</b>	
<b>CV(%)</b>	<b>35</b>	<b>44</b>	<b>41</b>	<b>65</b>	<b>18</b>	<b>37</b>	<b>47</b>	<b>43</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	
<b>Solos pouco intemperizados</b>											
RR	0,0360	0,0188	0,0215	0,1076	0,1532	0,1256	0,0084	0,0078	3,0603	2,8843	
RL	0,1305	0,0973	0,0857	0,1593	0,0747	0,1940	0,0349	0,0368	3,1542	3,3367	
TX	0,1776	0,1362	0,1279	0,2159	0,1211	0,2503	0,0501	0,0473	3,1052	2,9214	
SX	0,2486	0,1825	0,1742	0,1647	0,1123	0,2161	0,0662	0,0606	3,1885	2,9231	
RY	0,1728	0,1290	0,1241	0,1286	0,1185	0,1834	0,0382	0,0333	2,7765	2,4679	
VX	0,4353	0,3531	0,3289	0,2284	0,1746	0,3883	0,1313	0,1319	3,2428	3,2949	
<b>Média</b>	<b>0,2001</b>	<b>0,1528</b>	<b>0,1437</b>	<b>0,1674</b>	<b>0,1257</b>	<b>0,2263</b>	<b>0,0549</b>	<b>0,0530</b>	<b>3,0879</b>	<b>2,9714</b>	
<b>CV(%)</b>	<b>67</b>	<b>73</b>	<b>72</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>40</b>	<b>77</b>	<b>80</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	

<sup>(1)</sup>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. <sup>(2)</sup>Parâmetros da isoterma de Langmuir, sendo que CMAP é a capacidade máxima de adsorção de fosfato e “a” é a constante relacionada à energia de adsorção de P ao solo. <sup>(3)</sup>Constantes da isoterma de Freundlich. <sup>(4)</sup>RNL: Regressão não-linear. <sup>(5)</sup>LIN-II: Linearização considerando a segunda região de adsorção. <sup>(6)</sup>LIN-U: Linearização considerando uma única região de adsorção. <sup>(7)</sup>LIN: Linearização.

Também se encontram no quadro 2 os valores das constantes  $k$  e  $n$  da isoterma de Freundlich, obtidas através do método de regressão não-linear e da linearização do modelo exponencial da isoterma de Freundlich, com os quais obtiveram-se valores muito semelhantes, principalmente para a constante  $k$ . Isto deve-se ao fato de que, durante a linearização desse modelo, não ser necessário separar a isoterma em regiões de adsorção, envolvendo apenas relações matemáticas, diferentemente do que ocorre quando da linearização do modelo hiperbólico da isoterma de Langmuir para a segunda região.

Os valores de CMAP estimados pelo método da linearização considerando a segunda região e uma única região de adsorção foram semelhantes (Quadro 2). Entretanto, quando comparado com o método da regressão não-linear, o método da linearização para a segunda região de adsorção subestimou, em média, os valores de CMAP em torno de 33 % nos solos muito intemperizados e de 31 % nos solos pouco intemperizados. Avaliando-se o grupo de solos muito intemperizados, os valores de CMAP subestimados variaram de 21 % no solo PVd a 73 % no solo PAC e, no grupo de solos pouco intemperizados, a diferença chegou a 23 % no VX e 91 % no RQ (Quadro 2). Nesse sentido, a estimativa da CMAP por meio da linearização, considerando a segunda região de adsorção, pode levar a erros significativos nos solos de menor CMAP, como é o caso dos solos PAC e RQ (Quadro 2). Quanto à constante relacionada com a energia de adsorção, os valores estimados pelo método da regressão não-linear aproximaram-se mais dos valores estimados pelo método da linearização considerando uma única região do que dos valores estimados quando do uso da segunda região, com a qual obtiveram-se valores muito baixos, especialmente nos solos PA, PVA, PVd, RL e TX, com percentuais de diferença de 81, 236, 75, 113 e 78 %, respectivamente, tomando-se como referência o método da regressão não-linear. Em virtude de o ajuste do modelo hiperbólico da isoterma de Langmuir por meio da técnica de regressão não-linear ser mais eficiente que os outros dois modelos, os resultados foram discutidos com base nos parâmetros obtidos com tal método. O mesmo serve para os parâmetros da isoterma de Freundlich.

Os valores de CMAP variaram de 0,1448 a 0,3473 mg g<sup>-1</sup> nos solos muito intemperizados e de 0,0360 a 0,4353 mg g<sup>-1</sup> nos solos pouco intemperizados (Quadro 2). Esses resultados apresentam similaridade com aqueles encontrados por Moreira et al. (2006), que estudando a adsorção de P em quatro solos (Cambissolo Háplico, Argissolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Regolítico e Latossolo Vermelho-Amarelo) de diferentes regiões do Estado do Ceará, obtiveram valores de CMAP variando de 0,1099 a 0,3448 mg g<sup>-1</sup>.

Dentro do grupo de solos pouco intemperizados, o VX foi o solo que mais adsorveu P. Os teores elevados de Ca<sup>2+</sup> associados ao pH alcalino podem ter favorecido a formação de precipitados no solo VX, justificando, provavelmente, o maior valor de CMAP desse solo em

relação aos solos muito intemperizados (Quadro 2). O SX foi o segundo solo menos intemperizado que mais adsorveu P, possivelmente devido à grande quantidade de óxidos de ferro livres existentes nesse solo em relação aos demais (Quadro 1). O solo TX foi o terceiro que mais adsorveu P, em seguida o RY, que, embora tenha mais argila em relação ao TX, não adsorveu tanto fósforo como era esperado, possivelmente em razão do teor elevado de P disponível inicialmente existente nesse solo. Estudando a adsorção de P em quinze solos da região Semi-árida do Nordeste brasileiro, sendo nove solos alcalinos, cinco levemente ácidos e um neutro, Pereira & Faria (1998) encontraram uma grande variação dos valores de CMAP (0,1240 a 0,8050 mg g<sup>-1</sup>). Esses autores observaram que tais valores foram maiores nos solos alcalinos e menores nos solos levemente ácidos. De acordo com Sposito (1984), a precipitação e a adsorção são mecanismos de retenção de P pelo solo de difícil distinção, descritos pelo mesmo modelo matemático.

Pelos valores de P-rem (Quadro 1) e de CMAP (Quadro 2) encontrados, infere-se que o FCP na camada de 0 a 30 cm dos solos do Estado da Paraíba não é tão grande e não apresenta variação muito elevada entre os solos, o que simplifica a interpretação das análises de solos para P no Estado, onde se usa o extrator Mehlich-1 (extrator sensível ao FCP) para extrair o P do solo.

Muitos autores consideram que o teor de argila é o principal responsável pela variação do FCP dos solos (Moughli et al., 1993; Singh & Gilkes, 1991; Mendoza, 1986; López Camelo et al., 1984). É comum encontrar na literatura correlação significativa e positiva entre o teor de argila e a CMAP dos solos (Falcão & Silva, 2004; Valladares et al. 2003; Lima, 2001; Novais & Smyth, 1999; Silva, 1999; Tucci, 1991; Muniz et al., 1987). Neste trabalho não se observou correlação significativa entre a CMAP e o teor de argila dentro do grupo de solos muito intemperizados (Quadro 3), sugerindo a maior influência da qualidade mineralógica da fração argila nesses solos, em detrimento de seu teor, sobre os valores de CMAP, conforme relatado em trabalhos de Moreira et al. (2006), Rolim Neto et al. (2004), Agbenin (2003), Tucci (1991) e Bahia Filho (1982). Embora não tenha se correlacionado com o teor de argila, a CMAP apresentou correlação altamente significativa com o P-rem ( $r = -0,95^{**}$ ), a constante  $k$  da isoterma de Freundlich ( $r = 0,91^{**}$ ), o equivalente de umidade ( $r = 0,88^{**}$ ) e o teor de óxidos de ferro livres ( $r = 0,90^{**}$ ). Dentro do grupo de solos pouco intemperizados, os valores de CMAP encontrados (Quadro 2) se correlacionaram (Quadro 3) positivamente com o teor de argila ( $r = 0,97^{**}$ ), a constante relacionada com a energia de adsorção ( $r = 0,77^{*}$ ), a constante  $k$  da isoterma de Freundlich ( $r = 0,99^{**}$ ), o equivalente de umidade ( $r = 0,93^{**}$ ) e negativamente com o P-rem ( $r = -0,99^{**}$ ).

Quadro 3. Coeficientes de correlação linear simples (r) entre parâmetros das isotermas de adsorção de Langmuir e Freundlich e características do solo que refletem o fator capacidade de fósforo

Variável	CMAP <sup>(1)</sup>	a <sup>(1)</sup>	k <sup>(2)</sup>	n <sup>(2)</sup>	EU <sup>(3)</sup>	Fe <sub>d</sub> <sup>(4)</sup>	P-rem <sup>(5)</sup>
<b>Solos muito intemperizados</b>							
Argila	0,64 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,92**	0,76*	-0,63 <sup>ns</sup>
P-rem	-0,95**	-0,63 <sup>ns</sup>	-0,95**	-0,48 <sup>ns</sup>	-0,83**	-0,76*	-
Fe <sub>d</sub>	0,90**	0,16 <sup>ns</sup>	0,78*	0,32 <sup>ns</sup>	0,93**	-	-
EU	0,88**	0,30 <sup>ns</sup>	0,82**	0,35 <sup>ns</sup>	-	-	-
n	0,38 <sup>ns</sup>	0,86**	0,70*	-	-	-	-
k	0,91**	0,73*	-	-	-	-	-
a	0,42 <sup>ns</sup>	-	-	-	-	-	-
<b>Solos pouco intemperizados</b>							
Argila	0,97**	0,68 <sup>ns</sup>	0,96**	0,26 <sup>ns</sup>	0,99**	0,00 <sup>ns</sup>	-0,94**
P-rem	-0,99**	-0,83**	-0,99**	-0,49 <sup>ns</sup>	-0,89**	-0,13 <sup>ns</sup>	-
Fe <sub>d</sub>	0,10 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-	-
EU	0,93**	0,60 <sup>ns</sup>	0,91**	0,14 <sup>ns</sup>	-	-	-
n	0,44 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	-	-	-	-
k	0,99**	0,80*	-	-	-	-	-
a	0,77*	-	-	-	-	-	-

<sup>(1)</sup> Parâmetros da isoterma de Langmuir, sendo que CMAP é a capacidade máxima de adsorção de fosfato e *a* é a constante relacionada à energia de adsorção de P ao solo. <sup>(2)</sup> Constantes da isoterma de Freundlich. <sup>(3)</sup> Equivalente de umidade. <sup>(4)</sup> Óxido de ferro livre extraído por ditionito-citrato-bicarbonato. <sup>(5)</sup> Fósforo remanescente (Alvarez V. et al., 2000).

ns, \* e \*\* Não-significativo, significativos a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente.

Quando avaliado dentro do grupo de solos muito intemperizados, o teor de óxidos de ferro livres correlacionou-se significativamente com o teor de argila ( $r = 0,76^*$ ), constante *k* da isoterma de Freundlich ( $r = 0,78^*$ ), CMAP ( $r = 0,90^{**}$ ), P-rem ( $r = -0,76^*$ ) e equivalente de umidade ( $r = 0,93^{**}$ ), comprovando a importância e a eficácia do mesmo no processo de adsorção de fósforo nesses solos. Não foi encontrada correlação significativa entre o teor de óxidos de ferro livres e as características que refletem o FCP dentro do grupo de solos pouco intemperizados. Essa característica tem participação decisiva na adsorção de P, apresentando correlação significativa com a CMAP em diversos trabalhos (Moreira et al., 2006; Rolim Neto et al., 2004). O equivalente de umidade determinado correlacionou-se significativamente com a maioria das características relacionadas ao FCP tanto no grupo de solos muito intemperizados quanto no grupo de solos pouco intemperizados. As correlações obtidas entre essa característica e a CMAP (Quadro 3) sugerem que a mesma fornece uma estimativa da superfície disponível para a adsorção.

Para as variáveis CMAP, P-rem e k, os coeficientes de correlação com outras características do solo que refletem o FCP foram maiores dentro do grupo de solos pouco intemperizados e menores dentro do grupo de solos muito intemperizados (Quadro 3). Na correlação entre P-rem e teor de argila, encontrou-se valor de  $r = -0,63$  para os solos muito intemperizados e  $r = -0,94^{**}$  para os solos pouco intemperizados (Quadro 3), indicando que, ao contrário dos solos muito intemperizados, os solos pouco intemperizados são pouco influenciados pelas variações na composição mineralógica da fração argila desses solos.

#### 4. CONCLUSÕES

1. O modelo hiperbólico da isoterma de Langmuir ajustado por meio da técnica de regressão não-linear apresentou melhor ajuste aos dados observados, em comparação a este modelo ajustado por meio da técnica de linearização.
2. A capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) dos solos representativos do Estado da Paraíba variou de  $0,0360 \text{ mg g}^{-1}$  no Neossolo Regolítico com  $30 \text{ g kg}^{-1}$  de argila, a  $0,4353 \text{ mg g}^{-1}$  no Vertissolo Háplico com teor de argila igual a  $430 \text{ g kg}^{-1}$ .
3. Os valores de CMAP dos solos representativos do Estado da Paraíba são muito menores que aqueles encontrados em solos de outros Estados do Brasil.
4. Os valores de CMAP dos solos muito intemperizados apresentaram correlação elevada com os valores de fósforo remanescente ( $r = -0,95^{**}$ ), teor de óxido de ferro livre ( $r = 0,90^{**}$ ) e equivalente de umidade ( $r = 0,88^{**}$ ), mas não se correlacionaram com o teor de argila ( $r = 0,64^{\text{ns}}$ ). Dentro do grupo de solos pouco intemperizados, os valores de CMAP se correlacionaram com os valores de fósforo remanescente ( $r = -0,99^{**}$ ), equivalente de umidade ( $r = 0,93^{**}$ ) e teor de argila ( $r = 0,97^{**}$ ), mas não se correlacionaram com o teor de óxido de ferro livre ( $r = 0,10^{\text{ns}}$ ).



## 5. LITERATURA CITADA

- AGBENIN, J.O. Extractable iron and aluminum effects on phosphate sorption in a savanna Alfisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67:589-595, 2003.
- ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A. & CASAGRANDE, J.C. Isotermas de Langmuir e de Freundlich na descrição da adsorção de boro em solos altamente intemperizados. *Sci. agric.*, 55:379-387, 1998.
- ALMEIDA, J.A.; TORRENT, J. & BARRÓN, V. Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de P em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:985-1002, 2003.
- ALVAREZ V., V.H. & FONSECA, D.M. Determinação de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:49-55, 1990.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 25:27-32, 2000.
- ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H & NOVAIS, R.F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1003-1011, 2003.
- BAHIA FILHO, A.F.C. Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 179p. (Tese de Doutorado)
- BERTON, R.S. & PRATT, P.F. Evaluation of phosphorus requirement by the sorption isotherm technique in soils amended with organic materials. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:199-206, 1997.

- BOSCHETTI, A.N.G.; QUINTERO, G.C.E. & BENAVIDEZ, Q.R.A. Caracterização do fator capacidade de fósforo em solos de Entre Rios, Argentina. R. Bras. Ci. Solo, 22:95-99, 1998.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. R. Ceres, 21:73-85, 1974.
- 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 agrícolas dos solos do estado da Paraíba. Rio de Janeiro, 1972. 683p. (Boletim Técnico,15; SUDENE. Serie Pedológica, 8).
- DIAS, N.M.P.; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. & CAMARGO, O.A. Isotermas de adsorção de cádmio em solos ácidos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 5:229-234, 2001.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, EMBRAPA/CNPS, 1997, 212p.
- ERNANI, P.R.; FIGUEIREDO, O.R.A.; BECEGATO, V. & ALMEIDA, J.A. Decréscimo da retenção de fósforo no solo pelo aumento do pH. R. Bras. Ci. Solo, 20:159-162, 1996.
- FALCÃO, N.P.S. & SILVA, J.R.A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. Revista Acta Amazônica, 34:337-342, 2004.
- GATIBONI, L.C. Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 231p. (Tese de Doutorado)
- GODINHO, V.P.C.; SAMPAIO, R.A.; ALVAREZ V., V.H. & RUIZ, H.A. Adsorção de fosfato em três solos da região semi-árida do Rio Grande do Norte. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 32:819-823, 1997.
- GUILHERME, L. R. G.; RENÓ, N. B.; MACHADO, R. A. F.; CURI, N. & SILVA, M. L. N. Sorção de fósforo em solos de várzea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia. Anais... Goiânia: SBCS, 1993. (CD ROM)
- HARTER, R.D. Curves-fit errors in Langmuir adsorption maxima. Soil Sci. Soc. Am. J.I, Madison, 48:749-752, 1984.
- HEPPER, E.N.; HEVIA, G.G. & BUSCHIAZZO, D.E. Adsorción de fósforo y su relación con los parámetros edáficos en una climotoposecuencia de la región semiárida pampeana central Argentina. Agrochimica, 39:26-32, 1995.
- KUO, S. Phosphate sorption implications on phosphate soil tests and uptake by corn. Soil Sci. Soc. Am. J., 54:131-135, 1990.
- LIMA, H.N. Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 176p. (Tese de Doutorado)
- LÓPEZ CAMELO, L.G.; HEREDIA, O.S.; NERVI, A. & SESE, Z.M. Adsorción de fósforo em algunos suelos argentinos. I- Condiciones experimentales e isotermas de adsorción. R. Fac. Agron., 5:165-174, 1984.

- McBRIDE, M.B. Environmental chemistry of soils. New York, Oxford University Press, 1994. 406 p.
- MEDONZA, R.E. Isotermas de adsorción de fósforo en suelos argentinos. II- Aplicabilidad de las isotermas e interrelación de sus parámetros com variáveis de suelo y planta. Ci. Suelo, 2:117-124, 1986.
- MOREIRA, F.L.M.; MOTA, F.O.B.; CLEMENTE, C.A.; AZEVEDO, B.M. & BOMFIM, G.V. Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. Revista Ciência Agronômica, 37:7-12, 2006.
- MOTTA, P.E.F.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J.O.; VAN RAIJ, B.; FURTINI NETO, A.E. & LIMA, J.M. Adsorção e formas de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. R. Bras. Ci. Solo, 26:349-359, 2002.
- MOUGHLI, L.; WESTFALL, D.G. & ALI BOUKHIAL. Use of adsorption and buffer capacity in soil testing for phosphorus. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 24:1959-1974, 1993.
- 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, Viçosa, 34:125-151, 1987.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- OLIVEIRA, F.H.T. Disponibilidade de fósforo pela Resina aniônica e difusão do alumínio em Latossolos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 45p. (Dissertação de Mestrado)
- 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 CONSRVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. Anais... Aracaju: SBCS, 2006. CD-ROM.
- OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 21:144-149, 1957.
- PEREIRA, J.R. & FARIA, C.M.B. Sorção de fósforo em alguns solos do Semi-árido do Nordeste brasileiro. Pesquisa Agropecuária brasileira, 33:1179-1184, 1998.
- ROLIM NETO, F.C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; COSTA, L.M.; CORRÊA, M.M.; FERNANDES FILHO, E.I. & IBRAIMO, M.M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba, Minas Gerais. R. Bras. Ci. Solo, 28:953-964, 2004.
- SATO, S. & COMERFORD, N.B. Influence of soil pH on inorganic phosphorus sorption and desorption in a humid brazilian Ultisol. R. Bras. Ci. Solo, 29:685-694, 2005.

- SILVA, F.C. & RAIJ, B. van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. *Pesq. agropec. bras.*, 34:267-288, 1999.
- SILVA, J.R.T. Solos do Acre: caracterização física, química e mineralógica e adsorção de fosfato. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 117p. (Tese de Doutorado)
- SINGH, B. & GILKES, R.J. Phosphorus sorption in relation to soil properties for the major soil types of south-western Australia. *Aust. J. Soil Res.*, 29:603-618, 1991.
- SINGH, R.; MÖLLER, M.R.F. & FERREIRA, W.A. Características da sorção do fósforo relacionadas com propriedades selecionadas de solos dos trópicos úmidos da Amazônia. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:233-241, 1983.
- SOARES, M.R.; CASAGRANDE, J.C. & ALLEONI, L.R.F. Modelos descritivos da adsorção de íons em solos. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 31:46-50, 2006.
- SPOSITO, G. *The surface chemistry of soils*. New York, Oxford University, 1984. 234p.
- STUMM, W. *Chemistry on the solid-water interface*. New York, J. Wiley, 1992. 428 p.
- TAYLOR, R.W.; BLEMA, W.F. & TU, S.I. On the Langmuir phosphate adsorption maximum. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, 27:2713-2722, 1996.
- TUCCI, C.A.F. Disponibilidade de fósforo em solos da Amazônia. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 142p. (Tese de Doutorado)
- VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G. & ANJOS, L.H.C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. *Bragantia*, 62:11-118, 2003.

## **CAPÍTULO 2**

### **DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO PARA PLANTAS DE MILHO EM SOLOS REPRESENTATIVOS DA PARAÍBA AVALIADA POR DIFERENTES EXTRATORES**

#### **1. INTRODUÇÃO**

A análise química de um solo é a principal ferramenta que se dispõe para obtenção de informações sobre a sua fertilidade, sendo a determinação do teor de fósforo (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 a disponibilidade desse nutriente 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 valor Q à quantidade do nutriente que está adsorvida e, ou, precipitada, mas que pode passar para a solução, e o FCP é a medida da resistência que tem o solo para deixar variar a concentração do nutriente em solução (Alvarez V., 1996). Os teores de P indicados 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 no solo, estimado a partir de características do solo que se correlacionam com o FCP, como teor de argila e fósforo remanescente, principalmente quando se usa extratores sensíveis ao FCP, como o Mehlich-1 (Oliveira et al., 2000; Novais & Smith, 1999).

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 a quantidade de P extraída por esse extrator correlacione-se estreitamente com o conteúdo de P na planta (Alvarez V., 1996), de modo que se um extrator recuperar mais ou menos P isso não significa que é melhor ou pior (Bonfim et al., 2003). No Brasil, os extratores mais utilizados são o Mehlich-1 e a Resina de troca iônica, sendo o primeiro bastante sensível ao FCP, o que não ocorre com o segundo (Oliveira et al., 2000; Novais & Smyth, 1999; Silva & Raij, 1996; Gjorup et al., 1993). A escolha de um extrator que melhor simule a planta em diversas condições de solo não é fácil, pois a eficiência do mesmo está relacionada com as formas de P no solo e com sua sensibilidade ao FCP do solo.

Os extratores ácidos apresentam grande vantagem para uso rotineiro, 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 e simplicidade operacional (Rossi & Fagundes, 1998). Essas características explicam a ampla utilização do extrator Mehlich-1 em muitos laboratórios de diagnóstico da fertilidade do solo no Brasil. Esses extratores não funcionam da mesma maneira nos diferentes tipos de solos, apresentando diferentes capacidades de 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, Fe e Al (Silva & Raij, 1999) pelos íons  $\text{H}^+$  presentes, que proporcionam à solução extratora um pH em torno de 1,2 (Miola et al., 1999; Bahia Filho et al., 1983), sendo o papel do  $\text{SO}_4^{2-}$  e do  $\text{Cl}^-$  o de restringir o processo de readsorção dos fosfatos recém-extraídos. Em solos que contém essas três formas de P, esse extrator dissolve predominantemente o P ligado a Ca e quantidades menores de P ligado a Fe e Al, em razão das diferenças de solubilidade desses fosfatos (Moreira & Malavolta, 2001; Novais & Smyth, 1999; Silva & Raij, 1999; Raij, 1991; Kamprath & Watson, 1980). Esse extrator tem recebido críticas, principalmente por sua capacidade de extrair excessivamente o P ligado à Ca em solos 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 desgastado pelo próprio solo (Novais & Smyth, 1999; Bahia Filho et al., 1983).

O Mehlich-3 ( $\text{NH}_4\text{F } 0,015 \text{ mol L}^{-1} + \text{CH}_3\text{COOH } 0,2 \text{ mol L}^{-1} + \text{NH}_4\text{NO}_3 \text{ } 0,25 \text{ mol L}^{-1} + \text{HNO}_3 \text{ } 0,013 \text{ mol L}^{-1} + \text{EDTA } 0,001 \text{ mol L}^{-1}$ ) é um extrator multinutriente que tem sua ação baseada na presença do íon  $\text{F}^-$  e no pH ácido. Esse íon atua eficientemente na formação de um complexo muito estável entre o íon  $\text{F}^-$  e o íon  $\text{Al}^{3+}$ , liberando, assim, o P ligado a esse cátion. O P presente no solo, como fosfato de Ca, também é extraído pela precipitação de  $\text{CaF}_2$ . O EDTA presente no extrator Mehlich-3 tem a função de complexar os micronutrientes, melhorando o seu potencial de extração. A ação dos íons  $\text{F}^-$  presentes no extrator Bray-1 ( $\text{HCl } 0,025 \text{ mol L}^{-1} + \text{NH}_4\text{F } 0,03 \text{ mol L}^{-1}$ ) é exercida pela precipitação de Al solúvel pelo flúor extraído assim o fosfato de Al mais solúvel. A principal ação do  $\text{F}^-$  é complexar o Al ligado ao P e, conseqüentemente, liberar em solução o P-Al. A complexação de Ca pelo F é mínima,

de modo que o  $\text{NH}_4$  não extrai quase nada de P-Ca. O efeito do íon  $\text{H}^+$  contido no HCl do Bray-1 é o mesmo discutido para o Mehlich-1.

O processo de extração de P pela resina de troca iônica está baseado no fato de que o solo é um trocador de íons, sendo o pH da suspensão resina-solo semelhante ao pH do solo (Raij et al., 1986). Esse processo não utiliza qualquer reagente químico, extraindo, em princípio, apenas o P lábil. A extração é feita com uma mistura de resinas de troca catiônica e aniônica, saturadas com bicarbonato de sódio, o que apresenta várias vantagens: o íon bicarbonato tampona o meio e facilita a extração de P; a resina catiônica saturada com sódio retira os cátions de valência mais alta da solução, favorecendo também a transferência de P do solo para a resina (Raij et al., 2001). O princípio da extração pela resina é a remoção contínua do P da solução pela troca com o bicarbonato da resina, criando um gradiente de concentração que força a saída do P da superfície dos colóides, até que seja alcançado um equilíbrio eletroquímico entre o solo 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 (Santos & Kliemann, 2005; Moreira & Malavolta, 2001; Rossi et al., 1999). 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 ( $R^2$ ), concluíram que a resina superou os demais métodos. O extrator Mehlich-1 foi superior à resina em trabalhos realizados por Santos & Kliemann (2005) e Pavan & Chaves (1996). Em outros trabalhos o extrator Mehlich-3 tem ocupado uma posição de destaque em relação ao Bray-1, mostrando-se mais adequado em prever a disponibilidade de P para as plantas (Brasil & Muraoka, 1997; Tran et al., 1990).

Os quatro laboratórios de análises de solos existentes no Estado da Paraíba utilizam unicamente o extrator Mehlich-1 para avaliar a disponibilidade de P do solo para as plantas, independente do tipo de solo a ser analisado (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 %), Espodossolos (1,8 %), Neossolos Quartzarênicos (1,1 %) e Latossolos (1,0 %). A grande ocorrência de solos pouco intemperizados no Estado da Paraíba deve favorecer a formação de compostos pouco solúveis de fosfato de cálcio (P-Ca) quando se adiciona P ao solo e, conseqüentemente, diminuir a eficiência do extrator Mehlich-1.

Estudos de fracionamento do P inorgânico do solo têm demonstrado que a planta absorve preferencialmente as formas de P ligadas a Al (P-Al) e a Fe (P-Fe) e praticamente não absorve P ligado a Ca, P-Ca (Novais & Smyth, 1999; Novais & Kamprath, 1978). O extrator Mehlich-1 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 que não extraem ou não têm preferência em extrair P-Ca, como a resina de troca iônica, o Bray-1 e o Mehlich-3, deverão ser mais adequados que o Mehlich-1 para solos com essas características (Oliveira et al., 2000; Novais & Smyth, 1999; Novelino et al., 1985; Bahia Filho et al., 1983), que é o caso da maioria dos solos do Estado da Paraíba. Considerando que os laboratórios de fertilidade do solo do Estado só utilizam o Mehlich-1 como extrator do P disponível e que a maioria dos solos são pouco intemperizados, se faz 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.



## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias da UFPB, utilizando-se amostras dos doze 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<sup>-1</sup> dentro do grupo dos seis solos muito intemperizados e entre 30 e 430 g kg<sup>-1</sup> dentro do grupo dos seis solos pouco intemperizados, as quais foram coletadas 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 realização das análises químicas e físicas.

Os solos que apresentaram necessidade de calagem (PA, PAC, PVA e PVd) estimada pelo método da saturação por bases ou pelo método da neutralização do Al<sup>3+</sup> e elevação dos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> receberam calagem nas doses apropriadas. Aplicou-se uma mistura de CaCO<sub>3</sub> (p.a.) e de MgCO<sub>3</sub> (p.a.), numa relação molar de 4:1 e incubaram-se os solos nos vasos por duas semanas, adicionando-se água destilada em quantidades correspondentes a 50 % da porosidade total de cada solo. Após essas duas semanas de incubação, os doze solos receberam cada um cinco doses de P aplicadas em 100 % do volume de solo de cada vaso (3 dm<sup>3</sup>), obedecendo aos níveis 0; 0,6; 1,2; 2,4 e 4,8, sendo que o nível 4,8 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<sup>-3</sup> de P. Para os solos PAC e RR aplicaram-se as doses 0; 37,5; 75; 150 e 300 mg dm<sup>-3</sup> de P. Para os solos PVA, PVd e VX as doses de P foram 0; 51,25; 102,5; 205 e 410 mg dm<sup>-3</sup> de P. Como fonte

Quadro 1. Características químicas e físicas dos doze solos representativos do Estado da Paraíba<sup>(1)</sup>

Característica	Solo <sup>(2)</sup>											
	Muito intemperizado						Pouco intemperizado					
	PA	PAC	PVe	PVA	LA	PVd	RR	RL	TX	SX	RY	VX
pH (H <sub>2</sub> 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.O. (g kg <sup>-1</sup> )	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 <sup>-1</sup> ) <sup>(3)</sup>	45	47	35	28	44	28	54	45	41	37	44	25
P (mg dm <sup>-3</sup> )	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 <sup>-1</sup> ) <sup>(4)</sup>	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 <sup>-1</sup> ) <sup>(4)</sup>	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 <sup>-1</sup> ) <sup>(5)</sup>	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 <sup>(5)</sup>	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 <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	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 <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	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 <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	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 <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	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 <sup>3+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	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 <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	16,8	56,7	27,5	55,0	21,4	42,8	10,7	22,9	29,0	15,3	12,2	7,6
Areia grossa (g kg <sup>-1</sup> )	520	590	300	530	450	210	610	430	460	330	160	130
Areia fina (g kg <sup>-1</sup> )	360	250	280	130	200	280	280	380	210	310	290	90
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	30	40	240	110	60	130	80	110	190	170	350	350
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	90	120	180	230	290	380	30	80	140	190	200	430
Argila dispersa (g kg <sup>-1</sup> )	60	100	110	180	210	260	30	50	80	160	140	420
Dens. do solo (g cm <sup>-3</sup> )	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 <sup>-3</sup> )	2,80	2,79	2,65	2,60	2,67	2,80	2,96	2,82	2,73	2,78	2,69	2,65
Equiv. de umidade (kg kg <sup>-1</sup> )	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 <sub>d</sub> (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(6)</sup>	2,34	1,32	4,01	2,84	2,71	5,60	1,04	1,11	1,32	3,16	1,64	0,96
Minerais predominantes na fração argila <sup>(7)</sup>	Ct, Gb, Gt	Ct, Gt	Ct, Gt, Mi, (2:1)	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	Mi, Ct,, (2:1)	(2:1), Qz, Mi

<sup>(1)</sup> Análises químicas, físicas e mineralógicas realizadas conforme metodologias apresentadas em EMBRAPA (1997). <sup>(2)</sup> 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 Háptico; SX = Planossolo Háptico; RY = Neossolo Flúvico; VX = Vertissolo Háptico. <sup>(3)</sup> Fósforo remanescente (Alvarez V. et al., 2000). <sup>(4)</sup> Parâmetros da isoterma de Langmuir, sendo que CMAP é a capacidade máxima de adsorção de fosfato e *a* é a constante relacionada à energia de adsorção. <sup>(5)</sup> Constantes da isoterma de Freundlich. <sup>(6)</sup> Óxido de ferro livre extraído por ditionito-citrato-bicarbonato. <sup>(7)</sup> Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Gt: goethita; Mi: mica; (2:1): argilomineral tipo 2:1; Hm: hematita; Qz: quartzo; Fp: feldspatos.

de fósforo, foi aplicado em solução o sal  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  p.a. Após a aplicação das doses de P ao solo de cada vaso, os solos foram incubados 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, peneirados em peneira de 4 mm de malha e devolvidos aos vasos. Subamostras de  $0,2 \text{ dm}^3$  de solo de cada vaso foram retiradas para determinação dos teores de P disponíveis recuperados 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 minutos.

O experimento foi montado no delineamento de blocos casualizados com 60 tratamentos (12 solos x 5 doses de P) e três repetições, totalizando 180 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída de um vaso plástico sem dreno contendo  $2,8 \text{ dm}^3$  de solo e duas plantas de milho.

A parte restante do solo de cada vaso ( $2,8 \text{ dm}^3$ ) foi adubada com  $50 \text{ mg dm}^{-3}$  de N ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ),  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  de S ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ),  $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de B ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ),  $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de Cu ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ),  $5 \text{ mg dm}^{-3}$  de Fe ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dissolvido em solução diluída de EDTA),  $4 \text{ mg dm}^{-3}$  de Mn ( $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ),  $4 \text{ mg dm}^{-3}$  de Zn ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) e  $0,15 \text{ mg dm}^{-3}$  de Mo ( $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ). Para K, aplicou-se uma dose de KCl de modo que os solos de cada vaso apresentassem teor mínimo de  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  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 feita a semeadura do milho híbrido cultivar 2C577 no dia 22/08/06, colocando-se sete sementes de milho por vaso. Cinco dias após a emergência foi feito o primeiro desbaste, deixando-se cinco plantas por vaso, e, 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  $50 \text{ mg dm}^{-3}$  de N ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  e, ou, Uréia). Trinta e cinco dias após a semeadura foi efetuado o corte da parte aérea das plantas de cada vaso a um centímetro do solo. Em seguida, o material vegetal foi lavado em água corrente de torneira, e, posteriormente, com água 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  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ , 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 em função das doses de P aplicadas e em função dos teores de P recuperados pelos quatro 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 em função das doses de P aplicadas. Os valores dos coeficientes angulares dessas equações de regressão (declividades  $\Delta P$  recuperado pelos extratores/ $\Delta P$  aplicado e  $\Delta P$  acumulado na planta/ $\Delta P$  aplicado) e dos níveis críticos de P no solo e na planta foram correlacionados com características dos solos que refletem seu FCP. Os níveis críticos de P nos solos e na planta foram calculados de acordo com metodologia descrita em Alvarez V. (1996).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de P extraídos pelos quatro extratores apresentaram variabilidade elevada para a dose zero de P, principalmente nos solos pouco intemperizados (Quadro 2), evidenciando que os solos são bastante diferentes quanto à reserva de P lábil dos mesmos (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, independente da dose de P aplicada. Os extratores Mehlich-1 (M-1) e resina de troca iônica mista (RTI) extraíram quantidades intermediárias de P, sendo que a RTI extraiu mais P que o M-1, principalmente nas maiores doses de P. Esse comportamento foi verificado tanto para o grupo dos solos muito intemperizados, como para o grupo dos solos pouco intemperizados.

A RTI extraiu mais P que o M-1 até mesmo nos solos ricos em  $\text{Ca}^{2+}$  e com pH neutro a alcalino (PVe, TX, SX, RY e VX), 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 indício de que o P adicionado a esses solos vai preferencialmente ser adsorvido aos colóides minerais do solo para formar P-Fe e P-Al, ao invés de precipitar com o Ca do solo e formar P-Ca. Outro fato a ser considerado é que a baixa capacidade tampão desses solos (Quadro 1) faz com que em uma única extração a RTI extraia quase todo o P lábil desses solos, ao contrário do que ocorreria em solos com alto FCP, onde o P extraído pela RTI em uma única extração representaria uma fração menor do P lábil do solo. Além do mais, o pH elevado dos solos SX, RY e VX deve provocar desgaste do extrator M-1, diminuindo seu poder de extração, o que não ocorre com a RTI.

A maior extração de P pelo M-3 em relação aos demais extratores ocorre de maneira mais marcante para os solos SX e RY e em todas as doses (Quadro 2). No solo VX esse comportamento só se observa para as duas primeiras doses, sendo que o M-3 extraiu quantidade

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 <sup>(1)</sup>	Nível de fósforo <sup>(2)</sup>																			
	0				0,6				1,2				2,4				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 <sup>-3</sup> -----																				
<b>Solos muito intemperizados</b>																				
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
<b>Média</b>	<b>6,5</b>	<b>6,8</b>	<b>9,6</b>	<b>7,5</b>	<b>22,2</b>	<b>29,4</b>	<b>31,2</b>	<b>26,4</b>	<b>41,8</b>	<b>56,4</b>	<b>57,6</b>	<b>49,7</b>	<b>92,0</b>	<b>117,6</b>	<b>116,8</b>	<b>107,1</b>	<b>205,8</b>	<b>274,2</b>	<b>240,5</b>	<b>218,4</b>
<b>CV (%)</b>	<b>56</b>	<b>70</b>	<b>89</b>	<b>75</b>	<b>29</b>	<b>22</b>	<b>35</b>	<b>37</b>	<b>24</b>	<b>16</b>	<b>24</b>	<b>26</b>	<b>18</b>	<b>09</b>	<b>15</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>06</b>	<b>11</b>	<b>09</b>
<b>Solos pouco intemperizados</b>																				
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
<b>Média</b>	<b>38,6</b>	<b>36,7</b>	<b>70,3</b>	<b>15,6</b>	<b>59,6</b>	<b>65,5</b>	<b>103,6</b>	<b>34,2</b>	<b>84,1</b>	<b>102,3</b>	<b>133,3</b>	<b>60,5</b>	<b>136,3</b>	<b>169,5</b>	<b>189,8</b>	<b>112,7</b>	<b>241,5</b>	<b>311,7</b>	<b>306,1</b>	<b>222,2</b>
<b>CV (%)</b>	<b>118</b>	<b>101</b>	<b>109</b>	<b>115</b>	<b>92</b>	<b>63</b>	<b>83</b>	<b>63</b>	<b>63</b>	<b>46</b>	<b>59</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>14</b>

<sup>(1)</sup> 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 Háptico; SX = Planossolo Háptico; RY = Neossolo Flúvico; VX = Vertissolo Háptico. <sup>(2)</sup> O nível 4,8 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<sup>-3</sup> de P. Para os solos PAC e RR aplicaram-se as doses 0; 37,5; 75; 150 e 300 mg dm<sup>-3</sup> de P. Para os solos PVA, PVd e VX as doses de P foram 0; 51,25; 102,5; 205 e 410 mg dm<sup>-3</sup> de P.

de P semelhante ou menor que a RTI para as demais doses. Independente da dose de P, nos solos muito intemperizados o B-1 extraiu mais P que o M-1, mas esse comportamento se inverte na média do grupo de solos pouco intemperizados, principalmente nos solos SX, RY e VX, que são os solos mais alcalinos e mais ricos em  $\text{Ca}^{2+}$ . O extrator B-1 extrai preferencialmente P-Al em relação a P-Ca, dada a presença do íon  $\text{F}^-$  e a baixa acidez desse extrator.

Os teores de P recuperados pelos extratores e o P acumulado na parte aérea de plantas de milho aumentaram linearmente em função das doses de P aplicadas, sendo que os coeficientes angulares das equações de regressão ( $\Delta\text{P recuperado}/\Delta\text{P aplicado}$ ) ajustadas (Quadro 3) referem-se às taxas de recuperação pelos extratores ou pela planta do P aplicado ao solo como fertilizante. Para os quatro extratores e a planta, os valores médios das declividades  $\Delta\text{P recuperado}/\Delta\text{P aplicado}$  são muito semelhantes quando se compara o grupo de solos muito intemperizados com o grupo de solos pouco intemperizados (Quadro 4). 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 (Quadro 4). A RTI foi o extrator que apresentou maior valor médio da taxa de recuperação do P aplicado, o qual foi 17 % maior que o valor médio encontrado para o M-3 (Quadro 4). 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. A variabilidade entre solos da taxa de recuperação do P aplicado (Quadro 4) pode indicar a sensibilidade do extrator ao FCP do solo. Assim, a RTI mostrou a menor sensibilidade (CV = 13 %) e o M-1 a maior (CV = 21 %) quando comparados ao B-1 (CV = 18 %) e ao M-3 (CV = 16 %).

As análises de correlação mostraram que os extratores M-1, M-3 e B-1 foram muito sensíveis ao FCP e que a RTI e a planta foram pouco sensíveis (Quadro 5), mostrando que a variação entre solos dos valores das taxas de recuperação de P pela RTI ou pela planta (Quadro 4) depende de outros fatores, além do FCP dos solos. A pequena sensibilidade da RTI e da planta ao FCP é mais evidente dentro do grupo de solos pouco intemperizados (Quadro 5).

As 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 5), indicando que todos os extratores e a planta são mais ou menos sensíveis ao FCP. Entretanto, os extratores químicos M-1, M-3 e B-1 apresentaram correlação significativa e elevada com quase todas as características do solo que refletem o FCP, ao contrário do que foi verificado para a RTI e a planta. Portanto, pode-se afirmar que os extratores químicos (M-1, M-3 e B-1) apresentaram sensibilidade elevada ao FCP, enquanto que a RTI e a planta apresentaram sensibilidade baixa ao FCP (Quadro 5).

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

Solo <sup>(1)</sup>	Extrator	Equação	R <sup>2</sup>
<b>Solos muito intemperizados</b>			
PA	M-1	$y = -10,52 + 0,6382^{**}x$	0,99
	M-3	$y = -6,12 + 0,7380^{**}x$	0,99
	B-1	$y = -6,00 + 0,6254^{**}x$	0,99
	RTI	$y = -0,81 + 0,4502^{**}x$	0,99
	Planta	$y = -2,86 + 0,3699^{**}x$	0,98
PAC	M-1	$y = 1,32 + 0,7757^{**}x$	0,99
	M-3	$y = 7,81 + 0,7759^{**}x$	0,99
	B-1	$y = 6,32 + 0,7935^{**}x$	0,99
	RTI	$y = -4,25 + 0,8818^{**}x$	0,99
	Planta	$y = 9,94 + 0,4677^{**}x$	0,91
PVe	M-1	$y = -3,81 + 0,6191^{**}x$	0,98
	M-3	$y = 5,59 + 0,7200^{**}x$	0,99
	B-1	$y = -0,65 + 0,6669^{**}x$	0,99
	RTI	$y = -0,78 + 0,8505^{**}x$	0,99
	Planta	$y = 9,51 + 0,3933^{**}x$	0,99
PVA	M-1	$y = -3,80 + 0,4156^{**}x$	0,99
	M-3	$y = -3,49 + 0,5538^{**}x$	0,99
	B-1	$y = -3,84 + 0,4917^{**}x$	0,99
	RTI	$y = -9,06 + 0,6279^{**}x$	0,98
	Planta	$y = -1,68 + 0,2300^{**}x$	0,99
LA	M-1	$y = 7,00 + 0,5653^{**}x$	0,99
	M-3	$y = 19,96 + 0,6846^{**}x$	0,99
	B-1	$y = 17,58 + 0,5813^{**}x$	0,99
	RTI	$y = 4,74 + 0,7541^{**}x$	0,99
	Planta	$y = 16,35 + 0,2174^{**}x$	0,77
PVd	M-1	$y = -5,18 + 0,4328^{**}x$	0,99
	M-3	$y = -3,72 + 0,4753^{**}x$	0,99
	B-1	$y = -6,00 + 0,4722^{**}x$	0,99
	RTI	$y = -7,57 + 0,6576^{**}x$	0,99
	Planta	$y = 0,42 + 0,1985^{**}x$	0,99
<b>Solos pouco intemperizados</b>			
RR	M-1	$y = 27,83 + 0,8008^{**}x$	0,99
	M-3	$y = 42,18 + 0,8326^{**}x$	0,99
	B-1	$y = 30,03 + 0,7477^{**}x$	0,99
	RTI	$y = 24,06 + 0,9193^{**}x$	0,99
	Planta	$y = 35,52 + 0,5918^{**}x$	0,97

Continua...



Quadro 3, Cont.

Solo <sup>(1)</sup>	Extrator	Equação	R <sup>2</sup>
RL	M-1	$y = -1,42 + 0,6051^{**}x$	0,99
	M-3	$y = 6,03 + 0,7436^{**}x$	0,99
	B-1	$y = -5,26 + 0,6680^{**}x$	0,99
	RTI	$y = -3,23 + 0,7768^{**}x$	0,99
	Planta	$y = 7,98 + 0,4372^{**}x$	0,96
TX	M-1	$y = -4,31 + 0,5620^{**}x$	0,98
	M-3	$y = 2,73 + 0,6636^{**}x$	0,99
	B-1	$y = -2,52 + 0,6447^{**}x$	0,99
	RTI	$y = -1,09 + 0,7410^{**}x$	0,99
	Planta	$y = 13,62 + 0,3279^{**}x$	0,98
SX	M-1	$y = 28,82 + 0,5214^{**}x$	0,99
	M-3	$y = 126,54 + 0,5777^{**}x$	0,99
	B-1	$y = -0,09 + 0,5215^{**}x$	0,99
	RTI	$y = 35,70 + 0,6500^{**}x$	0,99
	Planta	$y = 8,19 + 0,3726^{**}x$	0,96
RY	M-1	$y = 133,21 + 0,6041^{**}x$	0,99
	M-3	$y = 213,92 + 0,6215^{**}x$	0,99
	B-1	$y = 41,25 + 0,5916^{**}x$	0,99
	RTI	$y = 106,12 + 0,9214^{**}x$	0,98
	Planta	$y = 71,41 + 0,2628^{**}x$	0,90
VX	M-1	$y = 26,73 + 0,4568^{**}x$	0,99
	M-3	$y = 46,29 + 0,5873^{**}x$	0,99
	B-1	$y = -0,81 + 0,4502^{**}x$	0,99
	RTI	$y = 38,07 + 0,7430^{**}x$	0,96
	Planta	$y = 7,69 + 0,1693^{**}x$	0,93

<sup>(1)</sup> 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 Háptico; SX = Planossolo Háptico; RY = Neossolo Flúvico; VX = Vertissolo Háptico. \*\* Significativos a 1 % de probabilidade pelo teste t.

Foram ajustadas equações de regressão que estimam o P acumulado na parte aérea da planta e a produção de matéria seca da parte aérea em função do teor de P do solo avaliado pelos extratores (Figuras 1 e 2), considerando o grupo de solos muito intemperizados e o grupo de solos pouco intemperizados. Para todos os extratores, os valores de R<sup>2</sup> das equações que têm o P acumulado na planta como variável dependente (Figura 1) foram maiores que os valores de R<sup>2</sup> que têm a matéria seca como variável dependente (Figura 2), principalmente para o grupo de solos pouco intemperizados. Utilizando-se o conteúdo de P na planta como variável dependente, os extratores M-1 (R<sup>2</sup> = 0,88), M-3 (R<sup>2</sup> = 0,87) e B-1 (R<sup>2</sup> = 0,89) foram semelhantes e um

Quadro 4. Coeficientes de regressão linear das equações para o P recuperado pelos extratores Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3), Bray-1 (B-1) e resina de troca iônica mista(RTI) como variável dependente de doses de P aplicadas

Solo <sup>(1)</sup>	$\Delta P$ recuperado/ $\Delta P$ aplicado				$\Delta P$ acumulado/ $\Delta P$ aplicado
	M-1	M-3	B-1	RTI	(mg vaso <sup>-1</sup> ) (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>-1</sup>
	----- (mg dm <sup>-3</sup> ) (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>-1</sup> -----				
	<b>Solos muito intemperizados</b>				
PA	0,6382	0,7380	0,6254	0,7724	0,3699
PAC	0,7757	0,7759	0,7935	0,8818	0,4677
PVe	0,6189	0,7198	0,6667	0,8502	0,3933
PVA	0,4156	0,5538	0,4917	0,6279	0,2300
LA	0,5653	0,6846	0,5813	0,7541	0,2174
PVd	0,4328	0,4753	0,4722	0,6576	0,1985
<b>Média</b>	<b>0,5744</b>	<b>0,6579</b>	<b>0,6051</b>	<b>0,7573</b>	<b>0,3128</b>
<b>CV(%)</b>	<b>24</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>13</b>	<b>36</b>
	<b>Solos pouco intemperizados</b>				
RQ	0,8008	0,8326	0,7477	0,9193	0,5918
RL	0,6051	0,7436	0,6680	0,7768	0,4372
TX	0,5620	0,6636	0,6447	0,7410	0,3279
SX	0,5214	0,5777	0,5215	0,6500	0,3726
RY	0,6041	0,6215	0,5916	0,9214	0,2628
VX	0,4568	0,5873	0,4502	0,7430	0,1693
<b>Média</b>	<b>0,5917</b>	<b>0,6711</b>	<b>0,6040</b>	<b>0,7919</b>	<b>0,3603</b>
<b>CV(%)</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>14</b>	<b>41</b>

<sup>(1)</sup> 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.

pouco superiores a RTI ( $R^2 = 0,83$ ), quando se considerou o grupo dos seis solos muito intemperizados (Figura 1). Para o grupo dos seis solos pouco intemperizados o B-1 ( $R^2 = 0,84$ ) superou o M-1 ( $R^2 = 0,78$ ), a RTI ( $R^2 = 0,68$ ) e o M-3 ( $R^2 = 0,63$ ). Nas equações que estimam a produção de matéria seca em função do teor de P, quando se considerou o grupo dos seis solos muito intemperizados os quatro extratores foram igualmente eficientes na estimativa do P disponível ( $R^2 = 0,84$  para os extratores M-1, M-3 e B-1 e  $R^2 = 0,83$  para a RTI). Para o grupo dos seis solos pouco intemperizados, o valor de  $R^2$  para o B-1 (0,74) foi superior aos valores de  $R^2$  encontrados para os outros extratores, que foi de 0,52 para o M-1, 0,47 para a RTI e 0,36 para o M-3 (Figura 2). Percebe-se, pelos valores de  $R^2$ , que o B-1 revelou-se bastante superior ao M-3 e que a RTI foi semelhante ao M-1.

Quadro 5. Coeficientes de correlação linear simples entre as declividades  $\Delta P$  recuperado pelos extratores/ $\Delta P$  aplicado e  $\Delta P$  acumulado pela planta/ $\Delta P$  aplicado e características do solo que refletem o Fator Capacidade de P, para os extratores Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3), Bray-1 (B-1), resina de troca iônica (RTI) e para a planta

Característica	$\Delta P$ recuperado pelo extrator/ $\Delta P$ aplicado				$\Delta P$ acumulado pela planta/ $\Delta P$ aplicado
	M-1	M-3	B-1	RTI	
<b>Solos muito intemperizados</b>					
CMAP <sup>(1)</sup>	-0,77*	-0,80*	-0,69*	-0,58 <sup>ns</sup>	-0,51 <sup>ns</sup>
a <sup>(1)</sup>	-0,75*	-0,62 <sup>ns</sup>	-0,74*	-0,84**	-0,54 <sup>ns</sup>
k <sup>(2)</sup>	-0,91**	-0,90**	-0,88**	-0,83**	-0,68 <sup>ns</sup>
P-rem <sup>(3)</sup>	0,86**	0,88**	0,77*	0,74*	0,60 <sup>ns</sup>
Argila	-0,75*	-0,83**	-0,74*	-0,65 <sup>ns</sup>	-0,86**
EU <sup>(4)</sup>	-0,83**	-0,89**	-0,81*	-0,67 <sup>ns</sup>	-0,79*
<b>Solos pouco intemperizados</b>					
CMAP	-0,89**	-0,81*	-0,96**	-0,56 <sup>ns</sup>	-0,69*
a	-0,82**	-0,57 <sup>ns</sup>	-0,63 <sup>ns</sup>	-0,69*	-0,44 <sup>ns</sup>
k	-0,86**	-0,74*	-0,92**	-0,57 <sup>ns</sup>	-0,62 <sup>ns</sup>
P-rem	0,93**	0,82**	0,95**	0,64 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>
Argila	-0,81*	-0,78*	-0,93**	-0,35 <sup>ns</sup>	-0,78*
EU	-0,75*	-0,76*	-0,90**	-0,24 <sup>ns</sup>	-0,90**

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

Esses resultados mostram que em trabalhos de correlação de métodos de análises de solos é muito importante definir o critério de avaliação da eficiência do extrator, pois os valores de  $R^2$  são diferentes para matéria seca e para conteúdo de P na planta, conforme já alertado por Oliveira et al. (2000). Outro fator que influencia nos valores de  $R^2$  é o grupo de solos utilizados no trabalho de correlação de métodos de análises de solos. Considerando-se a matéria seca como variável dependente, o valor de  $R^2$  para o M-3 diminuiu de 0,84 (solos muito intemperizados) para 0,36 (solos pouco intemperizados). O valor de  $R^2$  para a RTI diminuiu de 0,83 (solos muito intemperizados) para 0,47 (solos pouco intemperizados). Para o M-1, o valor de  $R^2$  diminuiu de 0,84 (solos muito intemperizados) para 0,52 (solos pouco intemperizados). Para o B-1, o valor de  $R^2$  diminuiu de 0,84 (solos muito intemperizados) para 0,74 (solos pouco intemperizados). Diante do exposto, pode-se afirmar que, de modo geral, os métodos de extração mais indicados para os solos representativos do Estado da Paraíba foram o B-1 e o M-1, tendo em vista que os mesmos apresentaram correlações satisfatórias, tanto com a produção de matéria seca da parte aérea quanto com o P acumulado na planta. Como o crescimento da planta depende não somente

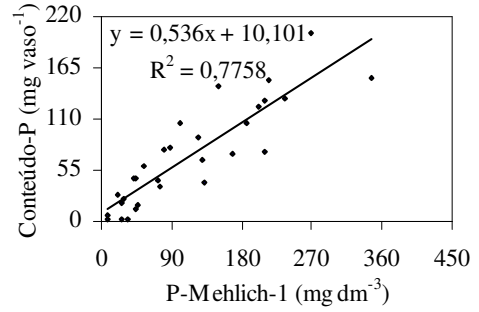
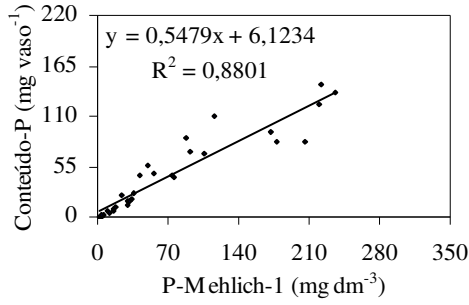
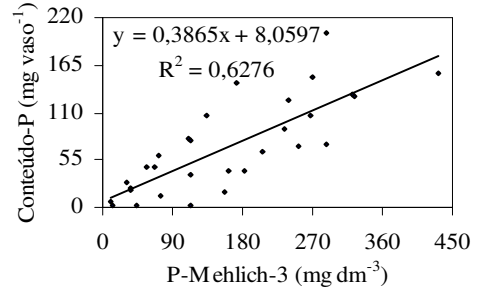
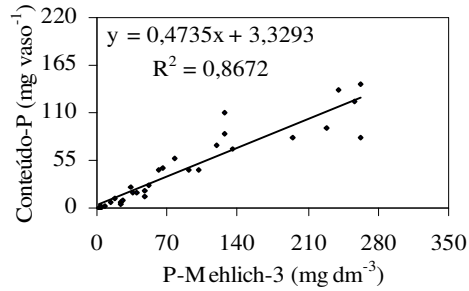
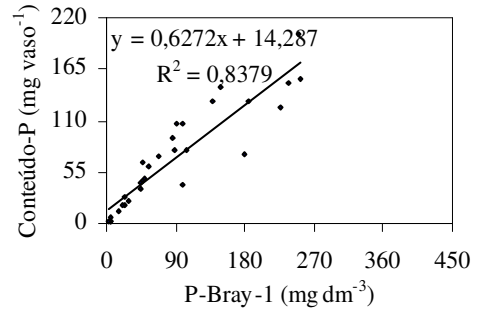
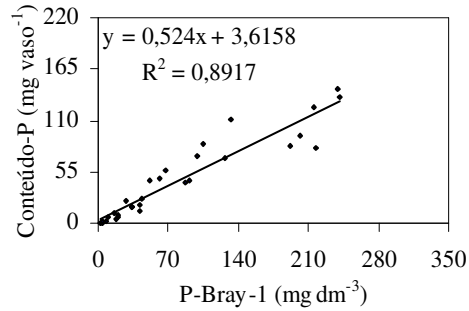
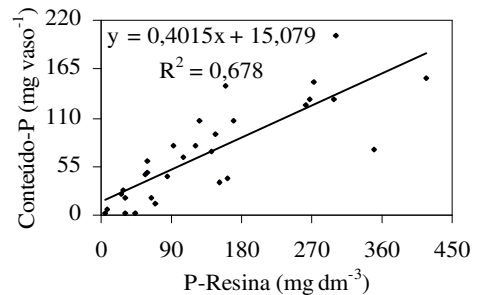
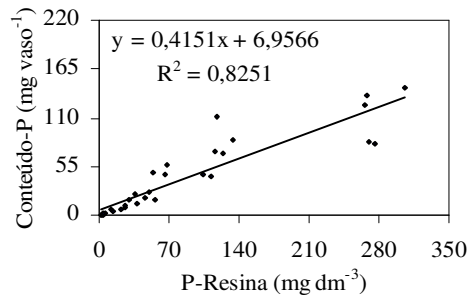
**Extrator****Solos muito intemperizados****Solos pouco intemperizados****Mehlich-1****Mehlich-3****Bray-1****Resina**

Figura 1. Conteúdo de P na parte aérea do milho como variável dependente dos teores de P recuperados pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e resina de troca iônica.

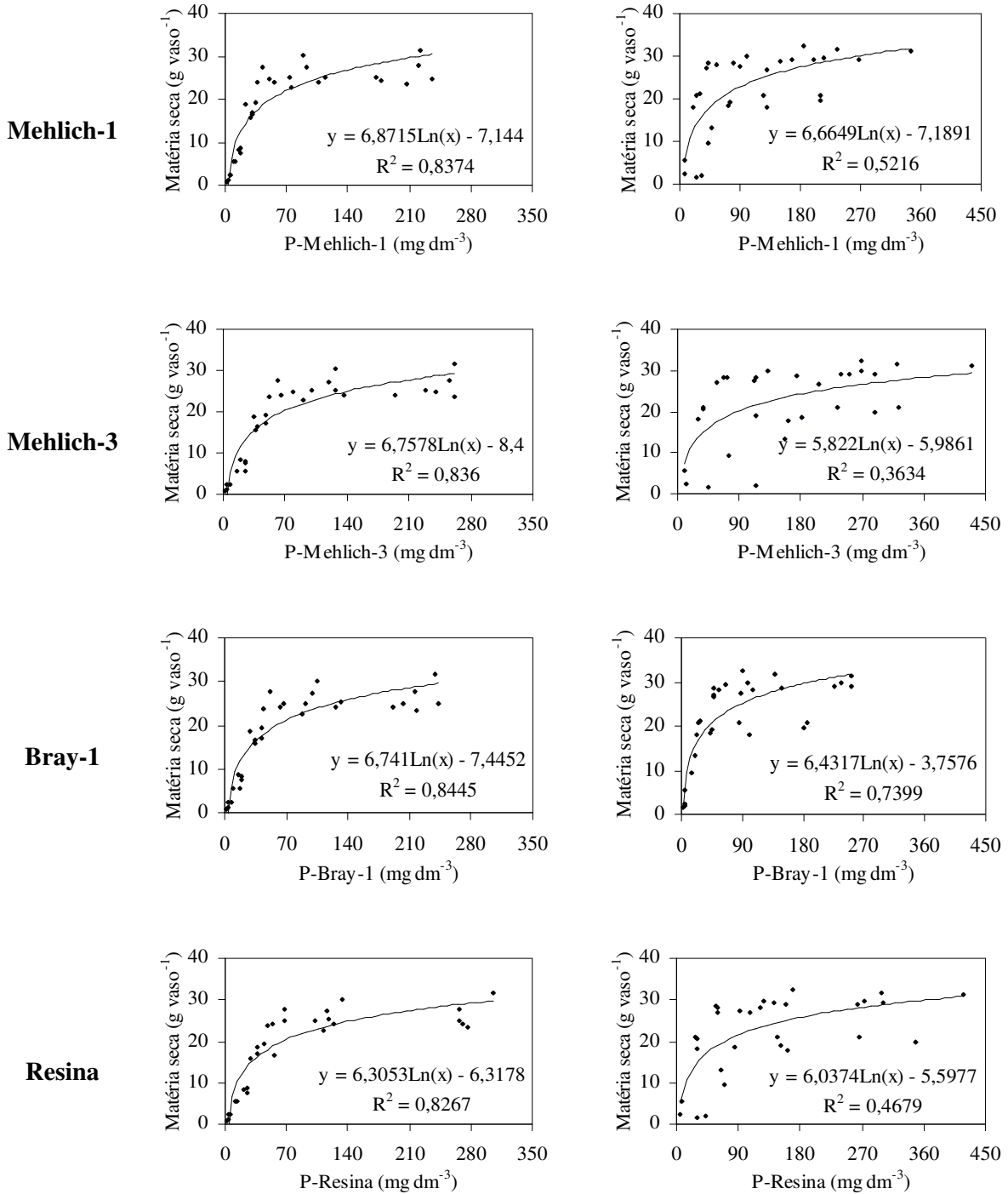
**Extrator****Solos muito intemperizados****Solos pouco intemperizados**

Figura 2. Matéria seca da parte aérea do milho como variável dependente dos teores de P recuperados pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e resina de troca iônica.

da disponibilidade de P no solo, parece ser mais viável a utilização do conteúdo de P na planta como critério para seleção de extratores em trabalhos de correlação de métodos de análises de solos.

Vale salientar que, qualquer um dos quatro extratores avaliados pode ser usado para avaliação da disponibilidade de P em solos muito intemperizados do Estado da Paraíba, tendo em vista que os valores de  $R^2$  das equações que têm tanto o P acumulado na planta como variável dependente quanto a matéria seca, foram elevados para os quatro extratores (Figuras 1 e 2). Mas o mesmo não pode ser dito para os solos pouco intemperizados. Nestes solos, podem ser recomendados os extratores M-1 e B-1, mas quanto aos extratores M-3 e RTI futuras pesquisas devem ser realizadas para confirmar se esses extratores são eficientes ou não para avaliar a disponibilidade de P dos solos pouco intemperizados do Estado da Paraíba. Trabalhos sobre fracionamento de P inorgânico devem ser realizados para saber se o P adicionado a esses solos (principalmente naqueles ricos em  $Ca^{2+}$  e com pH elevado) vai formar preferencialmente P-Ca, P-Al ou P-Fe. Isso vai elucidar melhor o comportamento desses extratores nos solos representativos do Estado.

A produção média de matéria seca variou de 14,83 a 22,73 g vaso<sup>-1</sup> nos solos muito intemperizados e de 13,54 a 30,25 g vaso<sup>-1</sup> nos solos pouco intemperizados (Quadro 6). Na ausência da adubação fosfatada, a produção de matéria seca foi muito variável entre os solos (Quadro 6), refletindo a grande variação entre solos do teor de P disponível (Quadro 2). A aplicação da dose de P mais elevada (nível 4,8) não aumentou a produção de matéria seca em relação a aplicação da dose de P correspondente ao nível 2,4, mas aumentou sensivelmente o conteúdo de P na planta (Quadro 6), o que evidencia consumo de luxo. Foram ajustadas equações de regressão (modelo quadrático) que relacionam a produção de matéria seca em função das doses de P aplicadas, com as quais calcularam-se os valores de máxima eficiência física (MEF), máxima eficiência econômica (MEE) e doses de P correspondentes à MEF e MEE (Quadro 7), de acordo com metodologia proposta por Alvarez V. (1996). O valor médio da dose de P correspondente à MEE (DMEE) foi de 177,49 mg dm<sup>-3</sup> para os solos muito intemperizados e de 139,82 mg dm<sup>-3</sup> para os solos pouco intemperizados. 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<sup>-3</sup>, respectivamente), com valores baixos de MEE. Isso evidencia o moderado caráter drenado de P desses solos, o qual 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 muito intemperizados e M-3 > RTI > M-1 > B-1 para os solos pouco intemperizados (Quadro 8). De acordo com a metodologia proposta por Alvarez V. (1996), os valores de nível crítico são diretamente proporcionais à DMEE (Quadro 7) e aos valores do

Quadro 6. Produção de matéria seca (MS, g vaso<sup>-1</sup>), teor (TP, g kg<sup>-1</sup>) e conteúdo de P (CP, mg vaso<sup>-1</sup>) na parte aérea das plantas de milho em função de doses de P aplicadas em solos representativos do estado da Paraíba.

Solo <sup>(1)</sup>	Nível de fósforo <sup>(2)</sup>														
	0			0,6			1,2			2,4			4,8		
	MS	TP	CP	MS	TP	CP	MS	TP	CP	MS	TP	CP	MS	TP	CP
<b>Solos muito intemperizados</b>															
PA	0,92	0,56	0,51	8,18	0,85	6,93	23,78	1,08	25,61	27,30	2,64	72,15	27,70	4,45	123,22
PAC	2,46	0,88	2,17	15,79	1,10	17,35	24,05	1,96	47,08	25,28	4,36	110,27	24,87	5,47	135,90
PVe	5,53	1,34	7,42	18,76	1,29	24,20	27,54	1,63	44,83	30,28	2,83	85,55	31,53	4,56	143,65
PVA	1,24	0,70	0,86	7,53	1,16	8,73	19,21	1,06	20,44	25,09	1,79	44,99	25,02	3,73	93,40
LA	5,52	0,73	4,04	17,05	0,78	13,32	24,89	2,28	56,75	24,07	2,86	68,86	23,52	3,46	81,42
PVd	2,25	0,99	2,23	8,54	1,27	10,85	16,50	1,02	16,83	22,71	1,89	42,93	24,14	3,39	81,85
<b>Solos pouco intemperizados</b>															
RR	21,01	1,11	23,29	28,12	2,13	59,94	27,50	2,89	79,50	28,76	5,06	145,44	29,17	6,93	202,30
RL	2,34	1,05	2,45	20,64	0,99	20,52	28,43	1,64	46,75	29,87	3,56	106,28	29,80	5,06	150,80
TX	5,54	1,16	6,44	18,11	1,56	28,18	27,02	1,75	47,28	28,20	2,75	77,53	29,09	4,26	123,85
SX	2,07	1,26	2,60	13,20	1,41	18,63	18,47	2,34	43,19	20,88	4,37	91,26	20,96	6,19	129,82
RY	26,84	2,42	65,08	29,24	2,45	71,63	32,38	3,29	106,47	31,58	4,17	131,68	31,24	4,95	154,64
VX	1,48	1,04	1,54	9,46	1,30	12,29	19,11	1,99	38,08	17,92	2,36	42,28	19,71	3,78	74,43

<sup>(1)</sup>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 Háptico; SX = Planossolo Háptico; RY = Neossolo Flúvico; VX = Vertissolo Háptico. <sup>(2)</sup>O nível 4,8 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<sup>-3</sup> de P. Para os solos PAC e RR aplicaram-se as doses 0; 37,5; 75; 150 e 300 mg dm<sup>-3</sup> de P. Para os solos PVA, PVd e VX as doses de P foram 0; 51,25; 102,5; 205 e 410 mg dm<sup>-3</sup> de P.

Quadro 7. 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 de P na parte aérea da planta

Solo <sup>(1)</sup>	MEF	MEE	DMEF	DMEE	NC na planta
	----- g vaso <sup>-1</sup> -----		----- mg dm <sup>-3</sup> -----		g kg <sup>-1</sup>
<b>Solos muito intemperizados</b>					
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
<b>Média</b>	<b>31,37</b>	<b>28,23</b>	<b>268,48</b>	<b>177,50</b>	<b>2,43</b>
<b>CV (%)</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>25</b>	<b>27</b>	<b>16</b>
<b>Solos pouco intemperizados</b>					
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
<b>Média</b>	<b>31,42</b>	<b>28,28</b>	<b>253,33</b>	<b>139,95</b>	<b>2,85</b>
<b>CV (%)</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>45</b>	<b>9</b>

<sup>(1)</sup> 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.

intercepto e das declividades das equações de regressão linear simples que estimam o P recuperado pelos extratores em função do P aplicado (Quadro 3). O valor da DMEE de um solo é o mesmo independente do extrator, de modo que apenas o intercepto e a declividade dessas equações variam com o extrator. Portanto, os valores de nível crítico de P no solo (Quadro 8) dependem do intercepto e da declividade  $\Delta P$  recuperado pelo extrator/ $\Delta P$  aplicado para solos com teor de P inicial baixo e praticamente só depende da declividade  $\Delta P$  recuperado pelo extrator/ $\Delta P$  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 pouco intemperizados, em relação ao grupo de solos muito intemperizados (Quadro 8). Com exceção do extrator B-1, o nível crítico médio de P pelos extratores foi maior no grupo de solos pouco intemperizados. Os maiores níveis críticos de P no



Quadro 8. Níveis críticos de P pelos extratores Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3), Bray-1 (B-1) e resina de troca iônica (RTI), em solos representativos do Estado da Paraíba

Solo <sup>(1)</sup>	Nível crítico			
	M-1	M-3	B-1	RTI
----- mg dm <sup>-3</sup> -----				
<b>Solos muito intemperizados</b>				
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
<b>Média</b>	<b>95,10</b>	<b>115,77</b>	<b>104,78</b>	<b>126,47</b>
<b>CV (%)</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>Solos pouco intemperizados</b>				
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
<b>Média</b>	<b>113,17</b>	<b>164,55</b>	<b>91,59</b>	<b>139,94</b>
<b>CV (%)</b>	<b>30</b>	<b>37</b>	<b>17</b>	<b>30</b>

<sup>(1)</sup>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 Háptico; SX = Planossolo Háptico; RY = Neossolo Flúvico; VX = Vertissolo Háptico.

solo obtidos com a RTI e os menores com o M-1 nos solos muito intemperizados (Quadro 8), 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 (Quadro 6). 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 tanto nos solos muito intemperizados como nos solos pouco intemperizados (Quadro 9). Tal resultado discorda de Bonfim et al. (2004), que obtiveram correlações altamente significativas

Quadro 9. 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	
<b>Solos muito intemperizados</b>						
CMAP <sup>(1)</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,75*	-0,45 <sup>ns</sup>	0,74*
a <sup>(1)</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	-0,61 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>
k <sup>(2)</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	0,73*	-0,64 <sup>ns</sup>	0,88**
n <sup>(2)</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	-0,76*	0,63 <sup>ns</sup>
P-rem <sup>(3)</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	-0,68*	0,51 <sup>ns</sup>	-0,80*
Argila	-0,06 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	-0,53 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>
EU <sup>(4)</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,77*	-0,59 <sup>ns</sup>	0,75*
<b>Solos pouco intemperizados</b>						
CMAP	0,38 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,87**	-0,16 <sup>ns</sup>	0,75*
a	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,67*	0,57 <sup>ns</sup>	-0,42 <sup>ns</sup>	0,92**
k	0,29 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,83**	-0,24 <sup>ns</sup>	0,80*
n	-0,63 <sup>ns</sup>	-0,46 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	-0,17 <sup>ns</sup>	0,77*
P-rem	-0,32 <sup>ns</sup>	-0,39 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	-0,84**	0,14 <sup>ns</sup>	-0,81**
Argila	0,53 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,93**	-0,24 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>
EU	0,61 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,94**	-0,25 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>

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

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 pouco intemperizados (Quadro 9). 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 muito 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 (Bonfim et al., 2004; Bedin et al., 2003).

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 solos muito e pouco intemperizados (Quadro 9). 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 (Bonfim et al., 2004; Mello et al., 1993; Fonseca et al., 1988; Fabres et al., 1987; Neves et al., 1987; Muniz et al., 1985; Freire et al., 1985).

Ao contrário do que se encontra na literatura, 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 que 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  $\Delta P$  recuperado pelos extratores  $/\Delta P$  aplicado variaram inversamente com o FCP (Quadro 5), as DMEE variaram diretamente com o FCP (Quadro 9), 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. Tudo isso mostra o quanto esse assunto é complexo e que muitas variáveis podem influenciar nos resultados, de modo que é necessário prudência ao fazer generalizações.

#### 4. 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 quantidades 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, contrariando a maioria dos trabalhos sobre o assunto na literatura.
4. Qualquer um dos extratores avaliados pode ser utilizado para avaliação da disponibilidade de P para as plantas em solos representativos do Estado da Paraíba.

## 5. LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V.H. & FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de P e para ensaios em casa de vegetação. R. Bras. Ci. Solo, 14:49-55, 1990.
- 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: SBCS/UFV/DPS, p.615-646, 1996.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 25:27-32, 2000.
- AMER, F.; BOULDIN, D.R.; BLACK, C.A. & DUKE, F.R. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption and P32 equilibration. Plant and Soil, 6:391-408, 1955.
- 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. Ciênc. Agrotec., 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.
- BONFIM, E.M.S.; FREIRE, F.J.; SANTOS, M.V.F.; SILVA, T.J.A.S. & FREIRE, M.B.G.S. Avaliação de extratores para determinação de fósforo disponível de solos cultivados com *Brachiaria brizantha*. Acta Scientiarum. Agronomy, 25:323-328, 2003.

- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. R. Ceres, 21:73-85, 1974.
- BRAIDA, J.A.; CAMARGO, F.A.O.; ROSSO, I.J.; GIANELLO, C. & MEURER, E.J. Comparação de métodos de determinação da disponibilidade de fósforo do solo para as plantas. R. Bras. Ci. Solo, 20:345-347, 1996.
- 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.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, EMBRAPA/CNPS, 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.
- 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, p.141-180. 1990.
- 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 estilósantes 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. SBCS/NRS. Santa Maria, 1997. 31 p. (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.
- LINS, I.D.G. & COX, F.R. Effect of extractant and selected soil properties on predicting the correct phosphorus fertilization of soybean. Soil Sci. Soc. Am. J., 53:813-816, 1989.
- 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. Pesquisa Agropecuária brasileira, 34:813-819, 1999.
- MOREIRA, A. & MALAVOLTA, E. Fontes, doses e extratores de fósforo em alfafa e centrosema. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 36:1519-1527, 2001.
- MOREIRA, A. Efeito de fontes e doses de fósforo na alfafa (*Medicago sativa* L.) e centrosema (*Centrosema pubescens* Benth.) e avaliação de extratores. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1997. 107p. (Dissertação de Mestrado)
- 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, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; CASALI, V.W.D. & FABRES, A.S. The influence of the soil phosphate capacity factor on soil and plant phosphorus critical levels of different vegetables. In: FRAGOSO, M.A.C.; BEUSICHEM, van M.L. (Eds.). Optimization of plant nutrition. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. p.73-76.

- 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 CONSRVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. 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. Difussive supply of phosphorus in relation to soil textural variations. J. Soil Sci., 110:318-327, 1970.
- PAQLF – Programa de análise de Qualidade de Laboratórios de Fertilidade. 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. da. 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.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. & SILVA, N.M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 17:547-566, 1986.
- 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. Scientia Agricola, 56:39-46, 1999.
- ROSSI, C. & FAGUNDES, J.L. Determinação do teor de fósforo em solos por diferentes extratores. R. Agricultura, 73:215-227, 1998.
- SANTOS, E.A. & KLIEMANN, H.J. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de cerrado e sua avaliação por extratores químicos. Pesquisa Agropecuária Tropical, 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. Pesquisa Agropecuária brasileira, 34:2277-2285, 1999.
- SKOGLEY, O. & DOBERMANN, A. Synthetic Ion-exchange Resins: Soil and environmental studies. Journal of Environmental 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: UFRGS, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, 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.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)