

METODOLOGIAS MAIS UTILIZADAS PARA ANÁLISE DE FÓSFORO NO SOLO

Daniely Formiga Braga¹, Samara Sibelle Vieira Alves², Vanessa de Fátima Lima de Paiva Medeiros³, Joana D'arc Jales de Mendonça⁴, Lucimara Batista Fernandes⁵

1. Mestranda do PPG em Ciências do Solo pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (danielyformiga@hotmail.com)
 2. Doutoranda em Fitotecnia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido
 3. Mestranda do PPG em Ciências do Solo pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Brasil
 4. Graduanda em Agronomia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido
 5. Mestranda do PPG em Ciências do Solo pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Brasil.
-

RESUMO

O Fósforo (P) é o nutriente que tem recebido maior atenção da pesquisa em análise de solo em âmbito nacional e internacional. Contudo, no âmbito prático da análise de solo, neste país há apenas dois métodos que são usados amplamente. A maior parte dos extratores químicos retira o P da fase sólida (P-não-lábil + P-lábil), dissolvendo principalmente o P adsorvido ou existente próximo da superfície das partículas de solo. Objetiva-se com esta revisão compreender as metodologias mais usadas. O extrator de Mehlich-1 vem se apresentando razoavelmente adequado como indicador da disponibilidade de P em solos sem adubação e com aplicação de adubos fosfatados solúveis. O método da Resina trocadora de ânions é uma tentativa de reproduzir em laboratório o processo de absorção de P pelas plantas no campo. Por muitos anos os laboratórios de análise do solo têm utilizado o Bray-1, Olsen para análises de fósforo e do acetato de amônio para análise de potássio, cálcio e magnésio. O teste Mehlich-3 (M3) foi desenvolvido na Carolina do Norte para análises de rotina de P, K, Ca, Mg, Na, e micronutrientes. A dificuldade de métodos de fósforo que visam a uma ação específica sobre determinadas formas de fósforo no solo, é que tais formas variam amplamente de ocorrência, podendo apenas ocorrer predominância de algumas em certos solos. Além disso, os extratores químicos para fósforo não são amplamente específicos, extraindo sempre parte de outras formas de P.

PALAVRAS-CHAVE: Extratores; Laboratório; Pesquisa.

MORE METHODS USED FOR ANALYSIS OF PHOSPHORUS IN THE SOIL

ABSTRACT

Phosphorus (P) is the nutrient that has received more research attention in soil analysis at the national and international. However, in the practical analysis of soil in this country there are only two methods that are used widely. Most extractants remove the P from the solid phase, dissolving mainly P adsorbed or existing near the surface of soil particles. The objective with this review understand the methodologies most used. The Mehlich-1 is performing reasonably appropriate as an indicator of P

availability in soils without fertilizer and with application of soluble phosphate fertilizers. The method of anion exchange resin is an attempt to reproduce in the laboratory the process of P absorption by plants in the field. For many years the laboratory analysis of soil have used the Bray-1, Olsen for analysis of phosphorus and ammonium acetate for analysis of potassium, calcium and magnesium. Test Mehlich-3 was developed in North Carolina for routine analysis of P, K, Ca, Mg, Na, and micronutrients. The difficulty of methods designed to match a specific action on certain forms of phosphorus in the soil, is that such forms of occurrence vary widely and can only occur on the predominance of some certain soils. Moreover, the chemical methods for phosphorus are not fully specific, always drawing in other forms of P.

KEYWORDS: Extractors, Laboratory, Research.

INTRODUÇÃO

O objetivo da análise química do solo é determinar qual a quantidade de nutrientes que o solo será capaz de fornecer às plantas para se determinar a quantidade de fertilizante que deverá ser aplicado para se ter melhor rendimento das culturas. O Fósforo (P) é o nutriente que tem recebido maior atenção da pesquisa em análise de solo em âmbito nacional e internacional. Contudo, no âmbito prático da análise de solo, no Brasil há apenas dois métodos que são usados amplamente (RAIJ, 2004).

O fósforo total do solo se encontra em diversas formas, variáveis com sua natureza química e com a energia da interação com os colóides. Quanto à natureza do composto, o P pode ser encontrado como P orgânico diéster, P orgânico monoéster, P inorgânico em ligações com Fe, Al, Ca, argilas silicatadas e óxidos, dentre outras. Já, quanto à energia de ligação, este nutriente pode estar associado a outros íons ou moléculas em ligações monodentadas, bidentadas e bionucleadas (DALAL, 1987; PARFITT, 1998).

Assim, as formas de P do solo têm diferentes capacidades de dessorção e abastecimento da solução do solo, segundo sua natureza química e energia de ligação. Na avaliação da fertilidade do solo, independentemente da sua natureza química, o P é dividido de acordo com a facilidade de reposição do P da solução do solo, sendo dividido em formas lábeis, moderadamente lábeis e não-lábeis. Essa classificação é bastante acadêmica, mas ajuda no entendimento da dinâmica do P. (GATIBONI, 2005).

Uma adequada avaliação do P disponível no solo deve incluir os fatores Quantidade (Q) ou P lábil, Intensidade (I) ou P da solução, Capacidade ou poder tampão de P, bem como a difusão do elemento no solo (GUNARY & SUTTON, 1987). Embora a maioria dos métodos utilizados na extração do P dos solos, baseie-se em determinações que refletem, principalmente o fator Quantidade, existem métodos satisfatórios para avaliar a disponibilidade de P em solos, pois esse fator é o mais importante a ser considerado na análise de P (RAIJ, 1978 e 1990).

As plantas absorvem o fósforo da solução do solo. Os teores de P na solução são sempre muito baixos e, à medida que ocorre a depleção com a absorção pelas raízes das plantas, ocorre à reposição através de P de formas sólidas que se encontra em equilíbrio com o P da fase líquida. O P da fase sólida que está em equilíbrio com o P da fase líquida tem sido chamado de "fósforo lábil". Uma das dificuldades da escolha de um método para fósforo é que não há uma transição clara entre o fósforo lábil e o não lábil dos solos. Além disso, o fósforo encontra se

no solo em diversos tipos de ligações químicas, principalmente em compostos de ferro, alumínio, cálcio e na matéria orgânica (RAIJ, 1998).

A maior parte dos extratores químicos retira o P da fase sólida (P-não-lábil + P-lábil), dissolvendo principalmente o P adsorvido ou existente próximo da superfície das partículas de solo. Em geral, o que determina a maior ou menor dissolução é a capacidade dos reagentes em dissolver determinadas formas de P do solo, sejam elas lábeis ou não. Assim ácidos são mais eficientes na dissolução de fosfatos de cálcio. A presença de ânions, que atuam como trocadores de ligantes favorecem a liberação de P ligado a Fe e Al. A interação destes com a superfície do solo se dá através de ligações de caráter covalente, portanto muito estáveis, principalmente no caso do fosfato. De qualquer forma, o desejável de um extrator é que ele retire do solo apenas o P-Labil (RAIJ, 2004).

Quando o objetivo da análise do P do solo é a estimativa da disponibilidade para as plantas a curto prazo. Têm se utilizado extratores de menor poder de extração, que têm ação físico-química sobre as formas com menor energia que, em última análise, são as responsáveis pela capacidade de suprimento às plantas. No entanto, a eficiência dos extratores em predizer o estado da disponibilidade depende da sua seletividade sobre as formas inorgânicas ou orgânicas que predominam no grupo de solos avaliados (FIXEN & GROVE, 1990; SILVA & RAIJ, 1996).

Em solos carentes em P, formas de menor labilidade podem atuar no seu tamponamento, o que não se verifica em solos com disponibilidade de média a alta (GATIBONI, 2003). Por isso, há preocupação de entender o modo de ação dos extratores de rotina para avaliar sua capacidade de acesso a formas menos disponíveis quando do uso em solos de menor disponibilidade.

As principais reações pelas quais o P é removido da fase sólida do solo por soluções extratoras foram classificadas por KAMPRATH & WATSON (1980) em quatro, conforme discutido a seguir.

1. **Ação solvente de ácidos:** As soluções usadas, de ácidos fortes diluídos, têm em geral pH de 2,0 a 3,0 e a acidez assegura a dissolução de fosfatos de Cálcio (Ca). Fosfatos de Ferro (Fe) e alumínio (Al) também são solubilizados, porém em menor grau. A ordem de maior solubilidade em extratores ácidos é P-Ca > P-Al > P-Fe.
2. **Substituição de ânions:** Os fosfatos adsorvidos na superfície das partículas do solo podem ser substituídos por outros ânions, como sulfato, bicarbonato, citrato, lactato e acetato, por meio de troca de ligações. Esses ânions, quando presentes em soluções ácidas, reduzem a readsorção de P, mas cabe ressaltar que a seletividade de adsorção de fosfato é maior do que a desses ânions e, assim o processo de troca de ligantes não é dominante na extração.
3. **Complexação de cátions combinados com fósforo:** O íon mais usado é o fluoreto (F), muito eficiente na complexação de Al, liberando, assim o P ligado ao metal. O P presente no solo como fosfato dicálcio também é extraído pela precipitação de fluoreto de cálcio. Ânions como citrato e lactato também complexam Al, mais são bem menos eficientes do que o fluoreto.
4. **Hidrólise de cátions combinados com fósforo:** Em soluções de pH mais elevado, o P ligado a Fe e Al é liberado por hidrólise dos metais. A solução de bicarbonato de sódio a pH 8,5 é eficaz na extração de P-Al e P-Ca.

Os extratores Bray-1 (NH_4F 0,03 mol/l + HCl 0,02 mol/l pH 2,6), Olsen (NaHCO_3 0,5 mol/l pH 8,5) e Mehlich-3 (CH_3COOH 0,2 mol/l + NH_4NO_3 0,25 mol/l + NH_4F 0,015 mol/l + HNO_3 0,13 mol/l + EDTA 0,001 mol/l pH 2,5) são amplamente utilizados em vários países do mundo (NOVAIS & SMYTH, 1999; GEORGIA UNIVERSITY STATION, 1992)

Em São Paulo usa-se a Resina com sucesso (RAIJ et al. 1996), apesar dela ter baixa sensibilidade à capacidade tampão de P (CTP) nos solos, contrariamente ao Mehlich-1 demais extratores ácidos que sofrem profundas alterações em sua capacidade de extração com a variação dessa propriedade (ALVAREZ V. et al. 2000 1999; NOVAIS & SMYTH, 1999; ALVAREZ V., 1996).

- Extrator Mehlich-1

Existem vários métodos de avaliação da disponibilidade de P no solo, com princípios diferentes (SILVA & RAIJ, 1996). Entre eles, destaca-se o método de Mehlich-1 que é muito utilizado no Brasil e extrai a fração de P solúvel em ácido fraco e a fração trocável de K do solo. Esse método tem sido usado com frequência na avaliação da disponibilidade de P em condições de campo, correlacionando-a com a produtividade de diversas culturas (MIELNICZUK et al. 1971; MIRANDA & VOLKWEISS, 1981; LINS et al. 1989).

O extrator de Mehlich-1 ou duplo ácido ou Carolina do Norte ($0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ de H_2SO_4 e $0,050 \text{ mol L}^{-1}$ de HCl), segundo VOLKWEISS & RAIJ (1977), baseia-se no princípio da dissolução de minerais contendo P e/ou deslocamento de P retido nas superfícies sólidas do solo para a solução, por ânions capazes de competir com o P pelos sítios de retenção.

Para LOPES et al. (1982), o extrator de Mehlich-1 vem se apresentando razoavelmente adequado como indicador da disponibilidade de P em solos sem adubação e com aplicação de adubos fosfatados solúveis. Estudo de correlação para métodos de P disponível para as plantas, em 40 solos do Estado do Rio Grande do Sul, e os extratores Bray, Olsen, Morgan (modificados) e Mehlich-1, mostrou que os quatro extratores foram eficientes e similares na avaliação da disponibilidade de P, sendo o Mehlich-1 o método que melhor estimou o P nativo (ANGHINONI & BOHNEN, 1974).

Para RAIJ et al. (1984), o método Mehlich-1 está entre os métodos ácidos de extração de P que apresentam grande vantagem para uso rotineiro, principalmente porque permite obter extratos límpidos que decantam facilmente, dispensando a filtração das suspensões de solo. Todavia, segundo esses autores, é possível que o uso de extratores ácidos, nas condições brasileiras, torne-se pouco utilizado no futuro, por duas razões principais: 1) com o possível uso crescente de fosfatos naturais, o uso de extratores ácidos como o Mehlich-1, que dissolvem apatita, superestimariam os teores de P disponível; e 2) em solos adubados é de se esperar que a reserva de P lábil encontre-se em grande parte na forma de fosfatos de Al, é principalmente se os solos forem ácidos, sendo preferível, então, extratores ou métodos que tenham maior ação sobre esta fração, como é o caso dos métodos Bray, da Resina e mesmo do método Olsen.

Para KOCHHANN et al. (1982), a substituição do método de Mehlich-1 por algum outro método testado, resulta numa certa melhoria na avaliação de P disponível, principalmente quando fosfatos pouco solúveis são aplicados. No entanto, a falta de similaridade entre o processo de absorção de nutrientes pelas plantas, com a extração pelos métodos químicos, ainda persiste.

- Método da Resina trocadora de ânions

O método da Resina trocadora de ânions foi proposto por AMER et al. (1955), como uma tentativa de reproduzir em laboratório o processo de absorção de P pelas plantas no campo. Em uma ampla revisão bibliográfica sobre métodos de extração de P feita por RAIJ (1998), ficou demonstrado que o método mais eficiente para o P, em uma grande variedade de condições, é o baseado na extração da resina trocadora de ânions.

Este método tem propriedades que permitem a avaliação apenas do P-lábil. Trata-se do mesmo material usado em deionizadores de água. A resina é um material sintético, orgânico, poroso, com estrutura matricial tridimensional, que contém grupos químicos com cargas positivas. Essas cargas positivas adsorvem os ânions $H_2PO_4^-$ da solução aquosa em contato com o solo durante a agitação de solo, resina e água durante 16 horas. (RAIJ, 2004).

Em estudo comparando os métodos IAC* (H_2SO_4 0,05N), Bray modificado, Olsen e Resina, através de correlação entre os teores de P nos solos e as respostas à adubação fosfatada, em 32 ensaios de campo, com as culturas de algodão e milho, constatou-se a superioridade do método da Resina (RAIJ et al. 1984).

O método que utiliza as resinas trocadoras de íons, de uso bastante amplo, remove gradativamente e de forma contínua o P da solução do solo. Esse método, mediante uma mistura de resinas de troca aniônica e catiônica, permite também a extração de outros nutrientes, como Ca, Mg e K (RAIJ et al. 1996). SILVA & RAIJ (1996) e BÜLL et al. (1998). demonstraram boa capacidade desse método de predição da disponibilidade de P do solo para diversas culturas. SILVA & RAIJ (1999), em estudo comparativo de métodos, englobando a revisão de 72 trabalhos, concluíram que a resina trocadora de íons foi superior aos demais na correlação entre o P absorvido pelas plantas e o P extraído do solo.

O método da resina trocadora de anions (COOKE et al. 1993), pelo qual o fósforo é extraído de uma suspensão de solo e água através de uma resina trocadora de anions, apresenta como grande vantagem o fato de a extração se dar com água. Além disso, o processo de extração em muito se assemelha ao das raízes. Em uma revisão sobre extratores de P de solos, ficou demonstrada a superioridade do método da resina trocadora de anions sobre outros métodos (RAIJ. 1998).

Um dos inconvenientes do método da Resina é o fato de ser um método trabalhoso. Todavia, valem esforços para a sua utilização, pois apresenta melhor correlação com respostas à adubação fosfatada, analogia com a extração da planta muito superior aos outros métodos, além do aspecto positivo de não incluir nenhum agente químico de ação específica sobre os fosfatos do solo (RAIJ et al. 1982 e 1984).

O método da resina trocadora de cátions e ânions, proposto por (RAIJ et al. 1987), apresenta grande eficiência, contudo, os laboratórios de análise de solo, principalmente os de rotina, nem sempre possuem a resina ao seu alcance. Assim é interessante estudar uma alternativa.

- Métodos: Mehlich-3 (M3), Bray-1 e Olsen

Por muitos anos os laboratórios de análise do solo têm utilizado o Bray-1, Olsen (bicarbonato de sódio) para análises de fósforo (P) e do acetato de amônio para análise de potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). O extrator Mehlich-3 (M3) foi desenvolvido na Carolina do Norte para análises de rotina de P, K, Ca, Mg, Na, e micronutrientes. Com base em vários anos de estudo. A Iowa State University (ISU)

vem oferecendo trabalhos sobre interpretações das análises de P e K feita com o extrator M3.

A vantagem do M3 é que ele oferece a possibilidade de utilizar uma análise para o P e outros nutrientes em solos de pH ácido e neutro. O M3 praticamente extrai a mesma quantidade de K como o ensaio atualmente utilizando acetato de amônio ([Extension.lastate](#)).

O método de Mehlich-3, (0.2N CH₃COOH + 0.25N NH₄NO₃ + 0.013N HNO₃ + 0.015N NH₄F + 0.001M EDTA) de extração ácida, tem apresentado uma boa correlação entre os teores de P no solo com a resposta das plantas (BRASIL & MURAOKA, 1997), além de extrair K, Ca, Mg, Mn e Zn (Tran et al. 1990).

O método Bray-1 produz erroneamente muitos valores baixos de P em solos calcários. Muitas regiões apresentam solos calcários e que é viável em solos neutros ou solos ácidos, mas não em solos calcários. O método Olsen é confiável para solos de pH neutro, não sendo indicado para solos ácidos. Além disso, não está tão bem adaptado para análise de rotina como o Bray. Portanto, muitos laboratórios utilizam a análise do solo através do Bray para todas as amostras e o método Olsen apenas para amostras com alto pH, reduzindo assim os custos e aumentando a eficiência de laboratório ([Extension.lastate](#)).

A universidade estadual de Iowa concluiu o M3 apresentou resultados semelhantes ao Bray, em solos ácidos e neutros. Conclusões semelhantes aplicam-se a muitos solos de estados próximos, embora o M3 não subestime a quantidade de P, em muitos solos dos estados ocidentais que têm maior (e talvez um tipo diferente) de carbonato de cálcio.

MALLARINO (2000) observou que apenas a quantidade de P extraído pelo Bray foi fortemente influenciada pelo pH do solo e a extração de P foi menor do que o M3, em muitos solos calcários. Os extratores Olsen e M3 foram bem correlacionadas em todos os solos. A Olsen, como esperado, extraiu menos P do que os outros testes. Esta diferença é contabilizada ao interpretar os resultados de para recomendação de adubação.

Para fósforo ligado a alumínio, os métodos de BRAY & KURTZ (1945), que utilizam NH₄F em meio ácido, são mais adequados. OLSEN et al. (1954) desenvolveram um método baseado em extração com solução de NaHCO₃ que seria mais adequado para solos calcários.

- Isotermas de Adsorção

Estima-se que apenas 5% a 25% do fósforo solúvel adicionado ao solo, como adubo, seja aproveitado pela cultura que o recebeu e que 95% a 75% dele seja fixado. O termo fixação de P envolve mecanismos de adsorção, através de ligações eletrostáticas ou covalentes, e de precipitação, com formação de compostos insolúveis, tornando o elemento indisponível para as plantas (ALCARDE et al. 1991).

A representação matemática dos mecanismos de adsorção e precipitação tem sido realizada através de isotermas de adsorção, que descrevem quantitativamente a adsorção de solutos à superfície de sólidos, sob condições constantes de temperatura e pressão, mostrando a quantidade de adsorvato sorvido em função de uma concentração de equilíbrio (BOHN et al. 1985). Existem, segundo BARROW (1978), duas boas razões para utilizar modelos que descrevem a adsorção no solo. A primeira é que possibilita a expressão numérica das propriedades de solo e, a segunda, que permite conhecer mais a respeito da natureza dos processos de adsorção.

As isotermas de adsorção descrevem as relações de equilíbrio entre a quantidade de um elemento adsorvido e a quantidade remanescente na solução final, sendo úteis para quantificar a adsorção de íons no solo (OLSEN & WATANABE, 1957; ALLEONI, 1996; NOVAIS & SMYTH, 1999). Dentre os modelos de isotermas mais utilizados destaca-se a de Langmuir, que permite a estimativa da capacidade máxima de adsorção de fosfato (CMAP) pelo solo (CUNHA et al. 1994; PEREIRA 1996; NOVAIS & SMYTH, 1999).

Isoterma de Langmuir foi utilizada pela primeira vez por OLSEN & WATANABE (1957) para descrever a adsorção de P pelo solo. A maior vantagem da equação de Langmuir, sobre outras isotermas, é que a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) e a constante relacionada com a energia de adsorção podem ser calculadas e estes valores podem ser relacionados com várias propriedades do solo, que fornecerão informações sobre a natureza da reação entre o solo e o fertilizante fosfatado (OLSEN & WATANABE, 1957; NOVAIS & SMYTH, 1999).

Constantes da isoterma de Langmuir – CMAP e “energia de adsorção” – correlacionam-se com o FCP, ou índices com ele relacionados (NOVAIS, 1977; MUNIZ et al. 1987; NOVAIS et al. 1993). HOLFORD & MATTINGLY (1976) propuseram a Capacidade Tampão Máxima, enquanto que NOVAIS & SMYTH (1999) propuseram o Fator Capacidade de P Máximo (FCPmáx). De acordo com NOVAIS & SMYTH (1999), o FCPmáx. integra uma medida de quantidade, capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) e uma de qualidade (“energia de adsorção”) ou, segundo HOLFORD & MATTINGLY (1976), integra uma medida extensiva e uma intensiva, respectivamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além de medir a disponibilidade de P no solo para recomendar a adubação fosfatada, é necessário avaliar a eficiência dessa adubação, de maneira a se obterem melhores produtividades das culturas, principalmente na região dos Cerrados, onde a deficiência de P é uma das principais limitações da fertilidade do solo (GOEDERT, 1983).

A dificuldade de métodos de fósforo que visam a uma ação específica sobre determinadas formas de fósforo no solo, é que tais formas variam amplamente de ocorrência, podendo apenas ocorrer predominância de algumas em certos solos. Além disso, os extratores químicos para fósforo não são amplamente específicos, extraindo sempre parte de outras formas de P.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J.C.; GUIDOLIN, J.A., LOPES, A.S. **Os Adubos e a eficiência das adubações**. 2. ed. ANDA, São Paulo. 35p, 1991.

ALLEONI, L.R.F. **Adsorção de boro em Podzólico e Latossolos paulistas**. 127f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1996.

ALVAREZ V., V.H. **Correlação e calibração de métodos de análises 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 sustentável**. Viçosa, SBCS/UFV/DPS, p.615-645, 1996.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. ; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G; ALVAREZ V., V.H., eds. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **B. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo**, v.25, p.21-32, 2000.

AMER, F.; BOULDIN, C.A.; BLACK, C.A.Q.; DUCKE, F.R. **Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption and P32 equilibration**. Plant and Soil, Dordrecht, v.6, p.391-407, 1955.

ANGHINONI, I.; BOHNEN, H. **Avaliação da disponibilidade do fósforo para os solos do Rio Grande do Sul**. Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, v.10, n.I, p.127-336, 1974.

BARROW, N.J. **The description of phosphorus adsorption curves**. *Soil Sci.*, 29:447- 462, 1978

BOHN, H., MCNEAL, B., O' CONNOR, G. **Soil Chemistry**. J. Wiley, Toronto. 341p., 1985.

BRASIL, E. C.; MURAOKA, T. **Extratores de fósforo em solos da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 21, n. 4, p. 599-606, 1997.

BRAY, R. H. & KURTZ, L. T. **Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils**. *Soil Sci.*, **59**:39-45, 1945.

BÜLL, L. T.; FORLI, F.; TECCHIO, M. A.; CORRÊA, J. C. **Relações entre fósforo extraído por resina e respostas da cultura do alho vernalizado à adubação fosfatada em cinco solos com e sem adubação orgânica**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 22, n. 3, p. 459- 470, 1998.

COOKE, I. & HISLOP, J. **Use of anion exchange-resin for assessment of available soil phosphate**. *Soil Sci.* **96**:308-311, 1993.

CUNHA, R.C.A.; CAMARGO, O.A.; KINJO, T. Aplicação de três isoterms na adsorção de zinco em oxissolos, alfissolos e ultissolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.15-20, 1994.

DALAL, R.C. **Soil organic phosphorus**. *Adv. Agron.*, 29:83-117, 1987.

FIXEN, P.E. & GROVE, J.H. **Testing soils for phosphorus**. In: WESTERMAN, R.L., ed. *Soil testing and plant analysis*, 3.ed. Madison., Soil Science Society of America, p.141- 180, 1990.

GUNARY, D.; SUTTON, G.D. **Soil factors affecting plant uptake of phosphate**. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.18, p. 167-173, 1987.

GATIBONI L. C. et. Al. **Modificações Nas Formas De Fósforo Do Solo Após Extrações Sucessivas Com Mehlich-1, Mehlich-3 E Resina Trocadora De Ânions**. Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor. Trabalho financiado pelo CNPq/PRONEX e FAPERGS, 2005.

GATIBONI, L.C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 231p. (Tese de Doutorado), 2003.

GOEDERT, W. J. **Management of the Cerrado soils of Brazil: a review**. Journal of Soil Science, Oxford, v. 34, n. 3, p. 405-428, 1983.

HOLFORD, I.C.R.; Mattingly; G.E.G. Phosphate adsorption and plant availability of phosphate. **Plant Soil**, 44:377-389, 1976.

KAMPRATH, E.J.; WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus of soils. In: STELLY, M. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, p. 433-469, 1980.

KOCHHANN, R.; ANGHINONI, I.; MIELNICZUK, J. Adubação fosfatada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J., ed. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília, EMBRAPA-DID, p.29-60, (EMBRAPA-DID. Documentos, 21), 1982.

LINS, I. D. G.; COX, F. R.; SOUSA, D. M. G. **Teste de um modelo matemático para otimizar a adubação fosfatada na cultura da soja em solos sob cerrado com diferentes teores e tipos de argila**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 13, n. 1, p. 65-73, 1989.

LOPES, A.S.; VASCONCELLOS, C.A.; NOVAIS, R.F. **Adubação fosfatada em algumas culturas nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio Janeiro**. In: OLIVEIRA, A.J. de; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília, EMBRAPA-DID, p.137-200, (EMBRAPADID. Documentos, 21), 1982.

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A. E.; VOLKWEISS, S. J.; PATELLA, J. F.; MACHADO, M. O. **Estudos de calibração de análises para fósforo e potássio do solo com a cultura do trigo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 12., Curitiba, 1969. Anais... Rio de Janeiro: Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, p. 53-63, 1971.

MIRANDA, L. N. de; VOLKWEISS, S. J. **Relações entre a resposta da soja à adubação fosfatada e alguns parâmetros do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 5, n. 1, p. 58-63, 1981.

MALLARINO A. **Interpreting Mehlich-3 soil test results**. SP 126 Electronic Version Only February 2000.

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.

Novais, R.F. **Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soils**. Tese de Doutorado, North Carolina State University, Raleigh. 153p, 1977.

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, M.L.V. (Eds). *Optimization of plant nutrition*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. p.73-76. 1993.

NOVAIS, R.F., SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 399p, 1999.

OLSEN, S. R.; COLE, C. V.; WATANABE, F. S. & DEAN, L. A. **Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate**. Washington. USDA, 19p. (Circular, 939), 1954.

OLSEN, S.R.; WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v.21, p.144-149, 1957.

PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. *Adv. Agron.*, 30:01-46, 1998.

PEREIRA, M.G. **Formas de Fe, Al e Mn como índices de pedogênese e adsorção de fósforo em solos do Estado do Rio de Janeiro**. 211p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1996.

RAIJ, B. van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, n.1, p.1-9, jan./abr. 1978.

RAIJ, B. VAN; FEITOSA, C.T.; CARMELLO, Q.A.C. **A adubação fosfatada no Estado de São Paulo**. In: OLIVEIRA, A.J. de; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J. (ed.). **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília, p.103-36, (EMBRAPA-DID. Documentos, 21), 1982.

RAIJ, B. VAN; QUAGGIO, J.A. **Método de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas, Instituto Agrônomo, 31p. (IAC. Boletim, 81), 1983.

RAIJ, B. VAN; FEITOSA, C.T.; SILVA, N.M. da. **Comparação de quatro extratores de fósforo de solos**. Bragantia, Campinas, v.43, n.1, p.17-29, 1984.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 170 p., 1987.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. Extractable phosphorus availability indexes as affected by liming. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.21, n.13/16, p.1267-1276, 1990.

RAIJ, B. VAN, CANTARELA, H., QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 285p, 1996.

RAIJ, B. VAN. **Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos**. R. bras. Ci. Solo, **2**:1-9, 1998.

RAIJ, B. VAN. **Anais sobre Fósforo na Agricultura Brasileira**. Editado por Tsuioshi Yamada e Silva Regina Stipp e Abdalla. Piracicaba : POTAFOS, 726p, 2004.

SILVA, F.C. da; RAIJ, B. VAN. Avaliação da disponibilidade de fósforo, por diversos extratores, em amostras de solos cultivados com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **20**:83-90, 1996.

SILVA, F. C.; RAIJ, B. V. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília. v 34, p. 267-288, 1999.

TRAN, T. S.; GIROUX, M.; GUILBEAUT, J.; AUDESS, P. Evaluation of Mehlich-III extractant to estimate the available P in Quebec soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 21, n. 1/2, p. 1-28, 1990.

VOLKWEISS, S.J.; RAIJ, B. van. **Retenção e disponibilidade de fósforo em solos**. In: Simpósio Sobre O Cerrado: Bases Para A Utilização Agropecuaria, 4., 1976, Brasília, São Paulo, EDUSP; Belo Horizonte, Ed. Itatiaia, p.317-32, 1977.

Disponível em: <www.extension.iastate.edu/Publications/SP126.pdf> acesso em:15/08/2009