

MARCELO VIEIRA ROLIM

FÓSFORO DISPONÍVEL PELOS EXTRATORES MEHLICH-1,
RESINA EM ESFERA E EM LÂMINA, EM AMOSTRAS DE
SOLOS SUBMETIDAS A DIFERENTES GRAUS DE MOAGEM

**FÓSFORO DISPONÍVEL PELOS EXTRATORES MEHLICH-1,
RESINA EM ESFERA E EM LÂMINA, EM AMOSTRAS DE
SOLOS SUBMETIDAS A DIFERENTES GRAUS DE MOAGEM**

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Curso de Fitotecnia, para
obtenção do título de "Magister Scientiae".

Prof. Antônio Carlos Ribeiro

Prof. Paulo César Rezende Fontes

Orientador: Antônio Carlos Ribeiro
Examinador (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa

Prof. Ronaldo B. ...

Prof. Victor Hugo ...

CDD 19 ed. 631.41
19.173.41

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
NOVEMBRO - 1998

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

R748a
1998

Rolim, Marcelo Vieira, 1971-
Fósforo disponível pelos extratores Mehlich-1,
resina em esfera e em lâmina em amostras de solos submeti-
das a diferentes graus de moagem / Marcelo Vieira Rolim. –
Viçosa : UFV, 1998.
73p. : il.

Orientador: Roberto Ferreira de Novais
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa

1. Solos - Análise. 2. Solos - Teor de fósforo. 3. Solos - Ex-
tratores. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 631.41

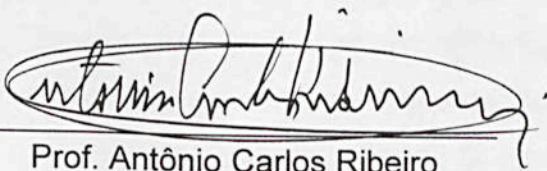
CDD 20.ed. 631.41

MARCELO VIEIRA ROLIM

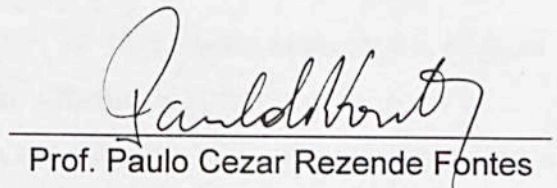
**FÓSFORO DISPONÍVEL PELOS EXTRATORES MEHLICH-1,
RESINA EM ESFERA E EM LÂMINA, EM AMOSTRAS DE
SOLOS SUBMETIDAS A DIFERENTES GRAUS DE MOAGEM**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Fitotecnia, para obtenção do título de "*Magister Scientiae*".

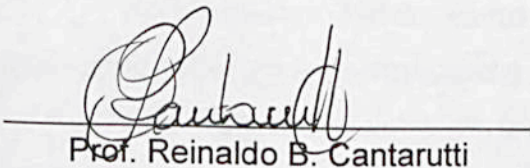
APROVADA: 19 de junho de 1998.



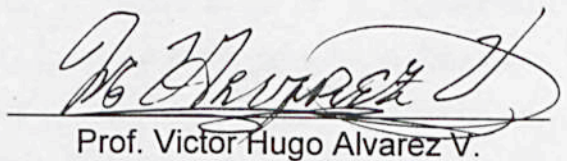
Prof. Antônio Carlos Ribeiro



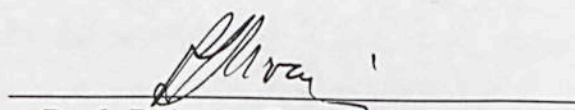
Prof. Paulo Cezar Rezende Fontes



Prof. Reinaldo B. Cantarutti



Prof. Victor Hugo Alvarez V.



Prof. Roberto Ferreira de Novais
(Orientador)

AGRADECIMENTO

A Deus.

Aos meus pais, Renato e Henriqueta.

Aos meus irmãos, Juliana e Luciano.

A toda minha família.

A Mônica, que, pelo carinho e companheirismo, tornou minha presença em Viçosa tão agradável.

Ao professor Roberto Ferreira de Novais, pela orientação segura, pelo exemplo de conduta e dedicação e, sobretudo, pela amizade.

Aos professores Carlos S. Sedyama e Júlio C. L. Neves, pelo apoio e pela consideração.

Ao professor Victor Hugo Avarez V., pelas sugestões proveitosas que enriqueceram este trabalho e pelo estímulo e pela atenção dedicada.

Aos funcionários e agregados do Departamento de Solos, em especial Simone, Cardoso, Carlos, José Roberto, Gerardo e Lúia, e do Departamento de Fitotecnia, em especial a Domingos, pela paciência e pelo apoio durante o trabalho.

Aos colegas de república Everson, Capixaba, Nevison, Reicieri e Ronaldo, pela agradável convivência e amizade.

Aos amigos Adriano, Chico, Genedilmar, Gerônimo, Emerson, Lilian, Marcos Godoy, Paulo (PG) e Sandro, entre tantos, pelo apoio e pela amizade.

A Agnolino e Fábio, que, além da amizade, foram constantes em seu apoio, acompanhando minha formação.

Aos muitos amigos, alguns ainda aqui presentes, que desde a graduação acompanham e incentivam meus estudos.

A todos os participantes do FUT 600, pela alegria e amizade compartilhadas durante o curso.

AGRADECIMENTO

Aos demais colegas, mestres e funcionários, que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa, por meio do Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realizar esse curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

A Mônica, que, pelo carinho e companheirismo, tornou minha presença em Viçosa tão agradável.

Ao professor Roberto Ferreira de Novais, pela orientação segura, pelo exemplo de conduta e dedicação e, sobretudo, pela amizade.

Aos professores Carlos S. Sedyama e Júlio C. L. Neves, pelo apoio e pela consideração.

Ao professor Victor Hugo Avarez V., pelas sugestões proveitosas que enriqueceram este trabalho e pelo estímulo e pela atenção dedicada.

Aos funcionários e agregados do Departamento de Solos, em especial Simone, Cardoso, Carlos, José Roberto, Geraldo e Lula, e do Departamento de Fitotecnia, em especial a Domingos, pela paciência e pelo apoio durante o trabalho.

Aos colegas de república Éverson, Capixaba, Nevison, Recieri e Ronaldo, pela agradável convivência e amizade.

Aos amigos Adriano, Chicão, Genecilmar, Gerônimo, Emerson, Lillian, Marcos Godoy, Paulo (PC) e Sandro, entre tantos, pelo apoio e pela amizade.

A Armantino e Fábio, que, além da amizade, foram constantes em seu apoio, acompanhando minha formação.

Aos muitos amigos, alguns ainda aqui presentes, que desde a graduação acompanham e incentivam meus estudos.

A todos os participantes do FUT 600, pela alegria e amizade compartilhadas durante o curso.

Aos demais colegas, professores e funcionários, que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho.

MARCELO VIEIRA ROLIM, filho de Renato Barbosa Rolim e Henriqueta Marçon Vieira Rolim, nasceu na cidade de Vitória, no Estado do Espírito Santo, em 28 de dezembro de 1971, tendo residido desde o nascimento na cidade de Goiânia, Estado de Goiás.

Iniciou o Curso de Agronomia em março de 1990, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em fevereiro de 1995. Entre julho de 1992 e junho de 1994, foi bolsista de iniciação científica do Departamento de Fitotecnia, na área de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas.

Em março de 1995, iniciou o curso de Mestrado em Fitotecnia na mesma instituição, defendendo tese em 19 de junho de 1998.

BIOGRAFIA

MARCELO VIEIRA ROLIM, filho de Renato Barbosa Rolim e Henriqueta Merçon Vieira Rolim, nasceu na cidade de Vitória, no Estado do Espírito Santo, em 28 de dezembro de 1971, tendo residido desde o nascimento na cidade de Goiânia, Estado de Goiás.viii

Iniciou o Curso de Agronomia em março de 1990, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em fevereiro de 1995. Entre julho de 1992 e junho de 1994, foi bolsista de iniciação científica do Departamento de Fitotecnia, na área de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas.

Em março de 1995, iniciou o curso de Mestrado em Fitotecnia na mesma instituição, defendendo tese em 19 de junho de 1998.

| | |
|---|----|
| 2. REV | 15 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 15 |
| 3.1. Solos utilizados | 15 |
| 3.2. Experimento com solos não-adubados e não-cultivados | 18 |
| 3.3. Experimento com solos adubados e cultivados | 20 |
| 3.4. Análise estatística dos experimentos | 22 |
| 3.4.1. Análise do experimento com solos não-adubados e não-cultivados | 22 |
| 3.4.2. Análise do experimento com solos adubados e cultivados | 24 |

| | |
|--|--------|
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 25 |
| 4.1. Efeito da moagem das amostras de solo sobre a extração de P nos solos não-adubados e não-cultivados | 28 |
| 4.2. Efeito da moagem das amostras de solo sobre a extração de P nos solos adubados e cultivados | 31 |
| 4.3. Avaliação dos extratos nos solos não-adubados e não-cultivados | 38 |
| 4.4. Avaliação dos extratos nos solos adubados e cultivados | 48 |
| 4.5. Relação entre os métodos de extração e o comportamento da planta | 52 |
| 5. RESUMO E CONCLUSÕES | 57 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 59 |
| | Página |
| APÊNDICE | 71 |
| EXTRATO | viii |
| ABSTRACT | x |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 15 |
| 3.1. Solos utilizados | 15 |
| 3.2. Experimento com solos não-adubados e não-cultivados | 18 |
| 3.3. Experimento com solos adubados e cultivados | 20 |
| 3.4. Análise estatística dos experimentos | 22 |
| 3.4.1. Análise do experimento com solos não-adubados e não-cultivados | 22 |
| 3.4.2. Análise do experimento com solos adubados e cultivados | 24 |

| | |
|--|----|
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 25 |
| 4.1. Efeito da moagem das amostras de solo sobre a extração de P nos solos não-adubados e não-cultivados | 25 |
| 4.2. Efeito da moagem das amostras de solo sobre a extração de P nos solos adubados e cultivados | 31 |
| 4.3. Avaliação dos extratores nos solos não-adubados e não-cultivados | 36 |
| 4.4. Avaliação dos extratores nos solos adubados e cultivados ... | 49 |
| 4.5. Relação entre os métodos de extração e o comportamento da planta | 52 |
| 5. RESUMO E CONCLUSÕES | 57 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 59 |
| APÊNDICE | 71 |

EXTRATO

ROLIM, Marcelo Vieira, M.S., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 1998. **Fósforo disponível pelos extratores Mehlich-1, resina em esfera e em lâmina, em amostras de solos submetidas a diferentes graus de moagem.** Orientador: Roberto Ferreira de Novais. Conselheiros: Carlos Segueyuki Sedyama e Júlio César Lima Neves.

Objetivou-se avaliar a eficiência dos extratores do "P-disponível", Mehlich-1, resina em esfera e em lâmina, comparar esses métodos, bem como conhecer o efeito de diferentes graus de moagem das amostras de solo sobre suas eficiências. Conduziram-se, assim, dois experimentos, sendo um constituído por amostras superficiais de 14 solos nunca adubados e cultivados, que tiveram o "P-disponível" determinado pelos seguintes métodos de extração: Mehlich-1, com as amostras de solo passadas por peneira de 2 mm de abertura; Mehlich-1, com as amostras de solo moídas até passarem por peneira de 0,25 mm de abertura; resina em esfera, com as amostras de solo passadas por peneira de 2 mm, moídas pela agitação com bola de vidro; resina em esfera acondicionada em saquinho, com as amostras de solo passadas por peneira de 2 mm; resina em esfera acondicionada em saquinho, com as amostras de solo moídas até passarem por peneira de 0,25 mm; resina em lâmina, com as amostras

de solo passadas por peneira de 2 mm; resina em lâmina, com as amostras de solo passadas por peneira de 2 mm, moídas pela agitação com bola de vidro; e resina em lâmina, com as amostras de solo moídas até passarem por peneira de 0,25 mm. No segundo experimento, aplicaram-se doses crescentes de P em amostras superficiais de três solos. Cultivou-se, então, milho determinando-se a produção de matéria seca e o teor de P na planta. Após o cultivo, foram retiradas amostras do solo dos vasos, extraíndo-se o "P-disponível" pelos métodos descritos. A moagem das amostras de solo não aumentou a extração de P pelo Mehlich-1 nos solos não-cultivados, tendo aumentado a extração em um dos solos cultivados. Quanto à resina em lâmina, a moagem não alterou a determinação do P. Já no que se refere à resina em esfera, a moagem aumentou a extração apenas nos solos não-cultivados. Nos solos não-cultivados, o acondicionamento da resina em esfera em saquinhos reduziu a extração e alterou as características do método, tornando-o sensível ao fator capacidade de fósforo (FCP). Tal efeito não foi verificado em solos cultivados. A resina em lâmina, apesar de menor capacidade extratora, teve comportamento similar ao da resina em esfera, sendo também pouco sensível ao FCP dos solos, e mostrou-se, em relação a esta, promissora para laboratórios de rotina, devido a sua maior praticidade. O P extraído pelos métodos correlacionou-se com os indicadores vegetais, embora essa correlação tenha sido inferior quando as amostras foram moídas.

ABSTRACT

ROLIM, Marcelo Vieira, M.S., Universidade Federal de Viçosa, November of 1998. **Available phosphorus by Mehlich-1, anion-exchange resin in beads and in membrane in soil samples submitted to different grinding levels.** Adviser: Roberto Ferreira de Novais. Committee members: Carlos Segueyuki Sedyama and Júlio César Lima Neves.

In order to evaluate the efficiency of extractors for P-available Mehlich-1, anion-exchange resin and anion-exchange membrane, and the effect of different grinding levels of soil samples on the efficiency of those extractors, two experiments were conducted. One of them was performed with samples from 14 soils never fertilized, in which P-available was determined following the extraction methods: Mehlich-1, with soil samples passed in 2 mm sieve; Mehlich-1, with ground soil samples, passed in 0,25 mm sieve; anion-exchange resin, with soil samples passed in 2 mm sieve and ground by stirring with glass beads; anion-exchange resin beg-conditioned, with soil samples passed in 2 mm sieve; anion-exchange resin beg-conditioned, with ground soil samples, passed in 0,25 mm sieve; anion-exchange membrane, with soil samples passed in 2 mm sieve; anion-exchange membrane, with soil samples passed in 2 mm sieve and ground by stirring with glass beads; and anion-exchange membrane, with ground

soil samples, passed in 0,25 mm sieve. In the other experiment, increasing P-doses were applied on samples of three soils, which were used for cultivating potted maize. After cultivation, dry mass and plant P-content were assessed; in addition, soil samples were withdraw from pots and the P-available was extracted by the above mentioned methods. The grinding of soil samples did not bring about an increased Mehlich-1 P-extraction in the non-cultivated soils, although a rise in P-extraction could be found in one of the cultivated soils. On the other hand, grinding led to an enhanced P-extraction by the anion-exchange resin in the non-cultivated soils. For anion-exchange membrane, the grinding of soil samples did not increased P-extraction. In non-cultivated soils, bag-conditioning of anion-exchange resin did decrease P-extraction, besides altering the characteristics of the method, which proceeded to being responsive to the power buffering capacity. Such effect was not detected in the cultivated soils. The anion-exchange membrane, despiste its lower P-extracting capacity, behaved similarly to the anion-exchange resin method; however, by comparing both methods, the former was more promising for routine laboratories due to its greater practicability. Finally, P-extracted by the above methods correlated with plant dry mass and plant P content, although such a correlation was lower in methods with ground samples.

1. INTRODUÇÃO

Uma das vantagens do método da resina, principalmente em laboratório, é o fato de ser trabalhoso em relação a outros métodos, como os extratores ácidos, sendo, muitas vezes, a mesma eficiência que tais extratores. A escolha de amostra de solo é necessária. Os solos brasileiros, como outros solos de regiões tropicais, são altamente intemperizados e, em geral, deficientes em fósforo (P), o que proporciona altas respostas à sua adição sobre a produção vegetal. Como a adubação com P aumenta os custos dos produtos agrícolas, principalmente nos solos de baixa fertilidade, muitos trabalhos têm sido conduzidos no sentido de racionalizar o uso desse elemento. Dada a complexidade das reações do P no solo, a avaliação de sua disponibilidade tem recebido especial atenção, buscando-se informações que possibilitem recomendações satisfatórias de fertilizantes fosfatados em diversas condições de solo e diferentes plantas.

Há um grande número de extratores químicos utilizados para estimar a disponibilidade de P, soluções que variam de ácidas a alcalinas, cuja eficiência depende da metodologia empregada, das características do solo, principalmente aquelas relacionadas com o fator capacidade de fósforo (FCP) dos solos, e das características da planta. Essas soluções extraem P, que, na realidade, não representa o que está disponível, em termos absolutos, para as plantas. No Brasil, o extrator químico mais utilizado é o Mehlich-1, sendo recomendado para solos muito intemperizados, com baixo pH, baixa saturação por bases e pequena quantidade de fosfato ligado a cálcio.

Instituições de pesquisa do Estado de São Paulo têm recomendado o uso da resina de troca aniônica (ou mista) para a análise de P. Ela surgiu como uma alternativa para os extratores químicos usuais, como um método de extração semelhante à absorção de P pela planta. A literatura a respeito da eficiência da resina em relação a outros extratores na determinação de "P-disponível" não é unânime em apontá-la como a melhor opção. Essa não concordância pode ser explicada pelo uso de solos com diferentes características em um mesmo trabalho. A resina, devido a sua menor sensibilidade ao FCP, tende a fornecer bons resultados preditivos, mesmo quando se trabalha com grupo de solos com características distintas.

Uma das desvantagens do método da resina, principalmente em laboratórios de rotina, é o fato de ser trabalhoso em relação a outros métodos, como os extratores ácidos, tendo, muitas vezes, a mesma eficiência que tais extratores. A moagem das amostras de solo é necessária para o uso da resina, como adotada no Brasil, apesar de a moagem, como sugerido por alguns autores, alterar a quantidade de P extraída da amostra de solo.

Recentemente, surgiu a membrana de troca iônica, uma resina que, devido a sua forma em lâminas ou tiras, torna o seu uso uma metodologia mais prática e exeqüível em laboratório. No entanto, praticamente não se têm estudos sobre a eficiência de extração com a resina em lâmina, sua aplicabilidade e limitações. Esta metodologia ainda deve ser mais bem estudada, para avaliar sua eficiência em estimar a disponibilidade do P no solo e permitir seu uso em laboratórios de rotina.

Assim, este trabalho objetivou avaliar a capacidade do extrator Mehlich-1, da resina aniônica em esfera e em lâmina para estimar o "P-disponível" em solos com diferentes características, bem como avaliar o efeito da moagem das amostras de solo e do acondicionamento da resina em esfera em saquinho de tela sobre a capacidade extratora desses métodos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Na tentativa de se conhecer a capacidade do solo suprir a planta com P, foram desenvolvidos diversos métodos para determinar o "P-disponível". Os resultados que se obtêm com esses métodos podem variar grandemente entre si e nem sempre refletem o P realmente disponível às plantas. O próprio conceito de disponibilidade pode ser variável, dependendo, por exemplo, das características da planta, dos microrganismos presentes no solo e do próprio solo. Algumas plantas podem se associar a microrganismos, formando associações micorrízicas, aumentando a eficiência na absorção de fosfatos (CHAVES, 1996), alterando as faixas de disponibilidade estabelecidas para estas plantas (CABALA R. e SANTANA, 1983). Diversas plantas desenvolveram mecanismos que permitem a utilização de fontes de P consideradas não-lábeis, como a excreção de H^+ , ácidos orgânicos como ácido cítrico (WILKSON, 1994), ácido málico e oxálico acidificando a rizosfera, o que solubiliza fosfatos cálcicos, usualmente de baixa reatividade, tornando-os disponíveis; outras, ainda, produzem fosfatases (MARSCHENER, 1995).

O P no solo pode estar, segundo LARSEN (1967), em três diferentes formas: fósforo em solução; precipitado ou adsorvido às partículas do solo, mas em equilíbrio com o fósforo em solução (P-lábil); ou precipitado como compostos insolúveis ou adsorvido às partículas do solo

sob alta energia, não estando em equilíbrio imediato com o fósforo em solução (P não-lábil). A quantidade de P disponível às plantas é função do P-lábil, que representa o "fator quantidade"; do P em solução, representando o "fator intensidade"; e do poder tampão de fosfato, ou "fator capacidade" (GUNARY e SUTTON, 1967), que consiste na capacidade que o solo tem de manter o P em solução. Para ter real conhecimento da disponibilidade de P às plantas, deve-se conhecer, pelo menos, dois desses fatores (NOVAIS e KAMPRATH, 1979a).

Como O P na solução do solo, ou fator intensidade, pode ser expresso na forma de potencial de fosfato monocálcico, como sugerido por Schofield (1955), citado por GUNARY e SUTTON (1967), mas esta técnica tem alguns problemas metodológicos de determinação do P em solução e, também, conceituais, além de produzir resultados pouco consistentes. Soluções diluídas de sais não-tamponados, como o próprio CaCl_2 , ou mesmo a água, também são usadas para estimar a concentração de P na solução do solo, o que representaria o fator intensidade (RAIJ, 1978; KAMPRATH e WATSON, 1980; FIXEN e GROVE, 1990). Com o uso de soluções muito diluídas e água, os valores encontrados são em geral muito baixos, principalmente em solos com grande capacidade de adsorção de fosfatos, o que gera problemas analíticos, requerendo cuidados especiais durante a determinação.

O fator quantidade pode ser determinado pela troca isotópica com ^{32}P (valores E e L), técnica sofisticada, porém com metodologia complexa e que pode ter baixa eficiência em solos com alta capacidade de adsorção de fosfatos (GUNARY e SUTTON, 1967; LARSEN, 1967; FIXEN e GROVE, 1990), não sendo viável para a aplicação em rotina. Extrações sucessivas com a resina de troca aniônica têm sido considerada forma efetiva para a determinação do P-lábil do solo (BARROW, 1983; CAMPELLO et al., 1994). Empiricamente, extratores químicos têm sido usados para determinar o P-lábil dos solos, ou o fator quantidade (BAHIA FILHO et al., 1983b). A fração do P-lábil extraída é variável entre extratores e varia também entre solos para um mesmo extrator.

Diversas técnicas são encontradas na literatura para se estimar o FCP. SILVA e BRAGA (1992, 1993), em revisão do assunto, citam os métodos da quantidade de P adsorvido na concentração de equilíbrio de $3,3 \text{ mg L}^{-1}$ de P descrito por Ozanne e Shaw (1967); inclinação da isoterma de adsorção à dada concentração de equilíbrio descrito por Bache e Willians (1971); declividade máxima da isoterma de adsorção de Langmuir descrito por Holford e Mattingly (1976); índice de sorção de ponto único descrito por Resende (1983); e P-remanescente descrito por Neves (1983). Como estimadores indiretos do FCP, podem ser usados o teor de argila, teor de óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro, teor de matéria orgânica, capacidade de campo e equivalente de umidade (DALAL e HALLSWORTH, 1976; NOVAIS e KAMPRATH, 1979ab; BAHIA FILHO et al., 1983a; NEVES, 1983; MUNIZ et al., 1985; FONSECA et al., 1988; LINS e COX, 1989). Métodos indiretos de avaliação do FCP, como a quantificação do teor de argila, têm sido amplamente usados, pela facilidade de determinação, juntamente com os valores do fator quantidade estimados pelos extratores convencionais na recomendação de adubações fosfatadas.

Na avaliação do "P-disponível", os extratores químicos determinam valores que variam entre o fator intensidade e o fator quantidade, podendo extrair até mesmo parte do P não-lábil (RAIJ, 1978). Segundo PALMA e FASSBENDER (1970), uma das desvantagens dos extratores químicos é considerar que a disponibilidade de P é um valor estático, momentâneo, não considerando a necessidade variável da planta durante seu ciclo, que seria também dependente do FCP. Para corrigir essa desvantagem dos extratores ácidos, GUNARY e SUTTON (1967) propuseram a interpretação de seus resultados conjuntamente com uma medida do FCP. Trabalhos como o de FREIRE et al. (1979), NOVAIS e KAMPRATH (1979ab), BAHIA FILHO et al. (1983b) e MUNIZ et al. (1985) confirmam que, para se ter segurança sobre adubações recomendadas, devem-se conhecer, pelo menos, dois entre os fatores intensidade, quantidade e capacidade, cuja inter-relação determina a disponibilidade de P. Como extratores químicos, e de forma semelhante à resina de troca aniônica, não informam sobre o FCP (NOVAIS e KAMPRATH, 1979a). As interpretações de análises de solo e a recomendação de adubações são feitas, assim, com base empírica.

Os extratores químicos podem ser constituídos por soluções diluídas de ácidos, bases, sais, agentes complexantes e misturas destes. Segundo FIXEN e GROVE (1990), os mais usados são o ácido cítrico, Bray-1 e 2, CaCl_2 , Egner, Kelowna, Mehlich-1, 2 e 3, Morgan, NaOH diluído, Olsen, Truog. O Mehlich-1 é usado em diversos países; no Brasil, à exceção de São Paulo e alguns laboratórios de outros estados, é adotado (RAIJ, 1994; DE FILLIPO e RIBEIRO, 1997).

A quantidade de P obtida pelos extratores químicos depende, entre outros fatores, de sua constituição (ácido, base, sal, quelante, ou a mistura destes), da concentração de seus constituintes, da relação solo:solução, do tempo de agitação e da temperatura durante a extração (RAIJ, 1978; BAHIA FILHO, 1982).

O comportamento dos extratores sobre o solo foi mais bem entendido com o desenvolvimento do fracionamento das formas inorgânicas de P do solo por CHANG e JACKSON (1957). Estudos foram então conduzidos no sentido de se determinarem as principais formas de P resultantes da adição de P ao solo, suas relações com a absorção de P pelas plantas e as formas preferencialmente extraídas pelos diversos métodos (BAHIA FILHO e BRAGA, 1975; NOVAIS e KAMPRATH, 1978; VIÉGAS, 1991).

Os extratores ácidos, principalmente o Mehlich-1, são recomendados para solos muito intemperizados, com elevados teores de alumínio trocável em seu complexo de troca, baixa saturação por bases e pequena quantidade de fosfatos de cálcio. Esta recomendação é particularmente adequada às condições de solos altamente intemperizados de regiões tropicais. Esta recomendação está de acordo com o modo de ação do Mehlich-1, que atua pela dissolução ácida e troca por sulfato, extraíndo as seguintes formas de P do solo, em ordem: $\text{P-Ca} \gg \text{P-Al} > \text{P-Fe}$ (KAMPRATH e WATSON, 1980; FIXEN e GROVE, 1990). Pela habilidade de solubilizar fosfatos cálcicos pouco disponíveis às plantas, os extratores ácidos não são recomendados para solos que tenham altas quantidades de P-Ca ou solos que foram adubados com fosfatos naturais de baixa solubilidade (THOMAS, 1967; NOVELINO et al., 1985). A forma P-Ca aqui citada refere-se basicamente a fosfatos de baixa solubilidade, encontrados em solos com elevado grau de intemperismo.

Originalmente, ou mesmo após a adição de fontes solúveis de fertilizantes fosfatados, há nos solos predominância de P nas formas de P-Al e P-Fe (BAHIA FILHO e BRAGA, 1975; GONÇALVES et al., 1989; VIÉGAS, 1991) e de P-Ca em menor quantidade. Há certo consenso entre os trabalhos realizados (BIASI, 1978; NOVAIS e KAMPRATH, 1978; VIÉGAS, 1991) de que a forma de P no solo que melhor se relaciona com a absorção de P pelas plantas é a P-Al, seguida pela P-Fe, tendo a P-Ca pouca participação no processo. A razão para isso parece ser a maior solubilidade das formas de P-Al em ambientes de solo muito intemperizados, fazendo com que a atividade do P em solução seja comumente governada por essa forma de fosfato (LINDSAY, 1979). Da mesma forma, os fosfatos cálcicos encontrados nos solos são de baixa reatividade, participando muito pouco da atividade do fosfato em solução. Todavia, alguns trabalhos sugerem que o P associado aos compostos de ferro constitui-se, basicamente, de P na forma não-lábil (GONÇALVES, 1988; KUO, 1990; VIÉGAS, 1991; HE et al., 1994) e que a conversão de P-Al em P-Fe pode ser uma das vias de formação de P não-lábil (GONÇALVES, 1988).

A sensibilidade de extratores ácidos ao FCP faz com que seus resultados sofram efeitos de características dos solos, piorando sua capacidade de predição quando se comparam análises de solos com ampla variação textural e mineralógica (NOVAIS e KAMPRATH, 1979ab; BAHIA FILHO et al., 1983b; MUNIZ et al., 1985; FABRES et al., 1987; LINS e COX, 1989; MOURA FILHO, 1990). Todavia, os extratores ácidos têm, de modo geral, apresentado boa capacidade de predizer o P disponível às plantas (BIASI, 1978; FREIRE et al., 1979; MUNIZ et al., OLIVEIRA, 1985, 1986; FULLIN, 1986; MUNIZ et al., 1987; FABRES et al., 1987; GONÇALVES et al., 1989; FONSECA et al., 1988; NOVAIS et al., 1988; LINS e COX, 1989; FIXEN e GROVE, 1990; MOURA FILHO, 1990; VIÉGAS, 1991; SILVA e BRAGA, 1992; PAULA, 1993; PASSOS, 1994; ACCIOLY et al., 1995; ALVES et al., 1995; BRASIL e MURAOKA, 1995; FREITAS et al., 1995; MIOLA et al., 1995; MORAIS e OLIVEIRA, 1995; SILVA e RAIJ, 1996; FONSECA et al., 1997ab).

O uso da resina de troca aniônica, proposto inicialmente por AMER et al. (1955), trouxe nova perspectiva à pesquisa de análise de solo. É um método bem embasado teoricamente (COOKE e HISLOP, 1963), com modo de ação semelhante ao das plantas ao absorverem um nutriente. Ao agitar a resina com solo e água, a resina captura o P da solução, que é repostado pelo P-lábil do solo; esse processo continua, teoricamente, até que a resina adsorva praticamente todo o P-lábil do solo (RAIJ et al., 1987). Alguns trabalhos mostram que o P extraído pela resina não corresponde exatamente ao fator quantidade, mas a uma fração deste (PALMA e FASSBENDER, 1970; CAMPELLO et al., 1994; FERNANDEZ R. et al., 1995). Esta fração está relacionada às características do solo que refletem seu FCP, como capacidade máxima de adsorção de fosfato (CMAP), P-remanescente e teor de argila (CAMPELLO et al., 1994; ANDRADE et al., 1995; ALVES et al., 1995; FERNANDEZ R. et al., 1995).

Embora alguns trabalhos tenham mostrado que os resultados da resina são influenciados por características do solo; a resina, comparada aos extratores ácidos, é pouco sensível ao FCP (NOVAIS et al., 1988 e MOURA FILHO, 1990). Uma das críticas aos extratores ácidos, como o Mehlich-1 usado no País, é a obtenção de baixos valores de "P-disponível" em solos argilosos, mesmo naqueles com teores satisfatórios de P para o crescimento de plantas (RAIJ et al., 1984 e RAIJ et al., 1987). A sensibilidade dos extratores ácidos, principalmente do Mehlich-1, ao FCP deve-se ao consumo dos íons H^+ do extrator pela fração ativa do solo e adsorção do sulfato por sítios de troca não ocupados pelo fosfato, reduzindo seu poder de extração (KAMPRATH e WATSON, 1980). O desgaste do extrator é mais intenso em solos com maior poder tampão, como os argilosos, em especial aqueles com maior pH, justificando a extração de pequena quantidade de P nesses solos. Dessa forma, quando se analisam solos com diferentes características usando apenas o valor de P extraído, a resina tem melhores chances de explicar a resposta da planta que os extratores ácidos. Outra forma de atenuar o desgaste dos extratores ácidos, além do uso de um estimador do FCP, é aumentar a concentração de ácido do extrator ou aumentar a relação extrator:solo, o que pode aumentar a extração de formas não-lábeis de P (THOMAS, 1967).

O método da resina de troca aniônica trouxe um novo rumo ao modelo de concepção da análise de solo. Este método tem sido intensamente pesquisado, sendo considerado, de maneira geral, um bom avaliador do "P- disponível" nos solos (AMER et al., 1955; COOKE e HISLOP, 1963; GUNARY e SUTTON, 1967; HISLOP e COOKE, 1968; PALMA e FASSBENDER, 1970; ZUNINO et al., 1972; WALMSLEY e CORNFORTH, 1973; ENWEZOR, 1977; BOWMAN et al., 1978; KABEDA e BOYLE, 1978; SIBBESEN, 1978; WATERHOUSE e BILLE, 1978; BINKLEY e MATSON, 1983; CABALA R. e SANTANA, 1983; RAIJ et al., 1984; OLIVEIRA, 1986; RAIJ et al., 1987; NOVAIS et al., 1988; LINS e COX, 1989; FULLIN e BRAGA, 1990; MOURA FILHO, 1990; SILVA e BRAGA, 1992; SKOGLEY, 1992; CAMPELLO et al., 1994; CAJUSTE et al., 1994; SIBBESEN e RUBAEK, 1994; SHAHANDEH et al., 1995; ACCIOLY et al., 1995; ANDRADE et al., 1995; ALVES et al., 1995; FREITAS et al., 1995; SILVA e RAIJ, 1996;).

Os métodos de extração de P devem, idealmente, extrair P de formas que participam ativamente da nutrição das plantas sem extrair o P não-lábil. A resina, segundo RAIJ (1978), extrai preferencialmente P-Al, justificando sua boa capacidade em determinar o "P-disponível" às plantas. Em condições predominantes para a maioria dos solos tropicais (LOPES e COX, 1977), o extrator Mehlich-1, à semelhança de outros extratores ácidos, extrai P principalmente das formas P-Al e P-Fe. O extrator Mehlich-1, devido a sua constituição ácida, tem capacidade de solubilizar fosfatos cálcicos de baixa solubilidade que, porventura, existam no solo (KAMPRATH e WATSON, 1980). Esta é uma das grandes críticas ao Mehlich-1, já que o torna inadequado para uso em solos, que, devido a sua gênese, ao material de origem ou à utilização de fosfatos cálcicos de baixa reatividade, apresentam quantidade expressiva de P-Ca (THOMAS, 1967). Uma vantagem da resina de troca aniônica é a extração das formas de P que estão em equilíbrio com a solução, não extraíndo P de formas não-lábeis, como de P-Ca do solo. Apesar de não superestimar o "P-disponível" em solos com grande quantidade de P-Ca, há indicações de que a resina, nessa situação, pode subestimar a disponibilidade de P para as plantas que conseguem utilizar esta fonte de P, como pela acidificação da rizosfera ou pela formação de associações micorrízicas (CABALA R. e SANTANA, 1983).

Alguns estudos têm comparado os resultados do método da resina e os do Mehlich-1, entre outros. Uma das ferramentas usadas são as análises de correlações entre os resultados dos métodos, que, se forem significativas, indicam a extração preferencial de uma forma específica de P do solo (BAHIA FILHO e BRAGA, 1975; KAMPRATH e WATSON, 1980). A forma P-AI parece ser a forma extraída preferencialmente pela resina (RAIJ, 1978) e pelo Mehlich-1, desde que este não seja usado para solo com elevado teor de P-Ca (FIXEN e GROVE, 1990). VIÉGAS (1991), CAJUSTE et al. (1994) e FREITAS et al. (1995), comparando a extração pela resina e pelo Mehlich-1, encontraram resultados semelhantes que mostram que os métodos se correlacionam e que esta semelhança no processo de extração deve-se à capacidade seletiva dos métodos sobre as mesmas formas de P do solo.

Há muito vêm-se pesquisando sobre a forma mais eficiente de se determinar a quantidade de nutrientes disponíveis no solo às plantas (FIXEN e GROVE, 1990). Diversos extratores foram então desenvolvidos, sendo a maioria para condições específicas, nem sempre acompanhados pela pesquisa necessária de calibrações e correlações. Gupta et al. (1992), citados por DOBERMANN et al. (1994), listaram 60 diferentes métodos para a extração de P; alguns diferem de outros apenas por pequenos detalhes. Um número cada vez maior de extratores são testados continuamente, com resultados aparentemente nem sempre coerentes, dificultando a padronização de uma metodologia, não permitindo a transferência de informações acumuladas entre diferentes laboratórios e instituições de pesquisa, ou a racionalização e padronização dos trabalhos realizados (RYAN e GARABET, 1994).

Na tentativa de padronizar os métodos de extração de P, alguns pesquisadores buscam desenvolver um extrator universal, apto à análise de vários nutrientes em ampla gama de solos e condições de uso, e que, ainda, seja rápido, barato e com resultados reprodutíveis (MEHLICH, 1978; SKOGLEY, 1992; DOBERMANN et al., 1994; RAIJ, 1994). Na prática, não existe um extrator universal e, provavelmente, nunca existirá. No entanto, extratores multielementos podem ser desenvolvidos, sendo apropriados para diversas situações (MEHLICH, 1984 e RAIJ, 1994). O método da

resina tem sido considerado por alguns pesquisadores (SKOGLEY, 1992; DOBERMANN et al., 1994; RAIJ, 1994) como o que mais se aproxima do extrator universal.

Para a análise de solo ser eficiente, segundo BRAY (1947), o extrator deve extrair proporcionalmente, ou totalmente, a fração ou a forma do nutriente disponível em solos com diferentes características. A quantidade extraída deve ser medida com rapidez e precisão razoáveis e deve se correlacionar com o crescimento e a resposta de cada cultura ao nutriente em diversas condições. Extratores químicos podem atender às características postuladas por BRAY (1947) quando são usados em condições para as quais foram desenvolvidos. Uma das críticas ao uso da resina, em larga escala, na análise do "P-disponível" é justamente a falta de rapidez, devido à pouca praticidade do método (CABALA R. e SANTANA, 1983). FULLIN (1986), procurando a melhoria da metodologia da resina de troca aniônica, concluiu que há, ainda, necessidade de melhorias na metodologia, que apresenta grande gasto de tempo, trabalho e reagentes, maior do que pelos extratores ácidos e com semelhante eficiência.

Embora seja conhecida há muito tempo e considerada, na maioria dos trabalhos, um método eficiente para avaliar o "P-disponível" às plantas, a resina só é adotada, extensivamente, em laboratórios de rotina de análise de solo no Brasil, mais especificamente em São Paulo e alguns laboratórios de outros estados (RAIJ, 1994). A resina tem, portanto, menor quantidade de informações de calibração e correlação que outros métodos mais usados e estudados.

No intuito de tornar a metodologia da resina mais prática, ZUNINO et al. (1972) e SIBBSEN (1977) acondicionaram a resina em saquinho de tela de poliéster. Com esse procedimento, a separação da resina do solo, que é um processo físico trabalhoso e demorado, torna-se mais fácil, agilizando a extração. ZUNINO et al. (1972) e SIBBSEN (1977) relatam que a resina acondicionada em saquinho de tela é eficiente método de extração do "P-disponível", com possibilidades de ser usado em laboratórios de rotina. Barrow e Shaw (1977), citados por CABALA R. e SANTANA (1983), apresentam restrição ao uso de saquinho de tela para acondicionar a

resina. Segundo esses autores, sem o uso de saquinho, em contato direto com o solo, a resina extrai maiores quantidades de P do solo. A menor extração de P quando a resina é usada acondicionada em saquinho pode estar relacionada à necessidade de migração do P da estrutura dos minerais de argila do solo para a superfície dos agregados durante o processo de extração, e daí para a solução e para a resina. Sabe-se que solos com maior FCP oferecem maior restrição à liberação do P para a solução (BAHIA FILHO et al., 1983a), o que restringe a extração de P pela resina. Indiretamente, o método da resina seria afetado por características do solo ligadas à sua capacidade de adsorção de fosfato, corroborando resultados apresentados por autores que usaram a resina acondicionada em saquinho de tela e concluíram que a capacidade extratora da resina está relacionada ao FCP do solo (SIBBSEN, 1978; CAMPELLO et al., 1994; ANDRADE et al., 1995; ALVES et al., 1995; FERNANDEZ R. et al., 1995).

A separação da resina em esfera do solo é feita, usualmente, por peneiras. Para permitir a separação solo-resina, é necessária a moagem das amostras de solo em diferentes intensidades, recomendada por diferentes autores, desde o início do uso da resina (AMER et al., 1955; COOKE e HISLOP, 1963; PALMA e FASSBENDER, 1970; SIBBSEN, 1977; SIBBSEN, 1978; RAIJ et al., 1987; FULLIN e BRAGA, 1990). A metodologia usada no Estado de São Paulo, descrita por RAIJ et al. (1987), para tornar a extração com a resina mais prática e rápida, recomenda a moagem das amostras de solo em água com uma bola de vidro, por 15 minutos, antes de se colocar a resina em contato com o solo. A moagem das amostras de solo foi criticada inicialmente por ZUNINO et al. (1972), que recomendaram o uso de saquinho de poliéster para permitir que se usasse a resina sem a moagem, evitando alterações físicas e químicas nas amostras de solo.

O efeito da moagem das amostras sobre a análise de solo pelo Bray-2 foi estudado por YOSHIDA (1992), HOUBA et al. (1993) e TAKAHASHI (1996). O "P-disponível" foi influenciado significativamente pela moagem, cujos efeitos foram diferentes de acordo com a intensidade, segundo esses autores. Inicialmente, a moagem aumenta a extração de P

pelo Bray-2 (YOSHIDA, 1992; TAKAHASHI, 1996), pelo aumento da superfície exposta provocado pela moagem. A moagem mais intensa das amostras pode levar à redução do P extraído, causada pela maior associação entre P e a superfície do solo, incluindo a formação de compostos de P mais estáveis não-extraíveis (YOSHIDA, 1992; TAKAHASHI, 1996). Este efeito é mais visível em trabalhos que usam solos pouco desenvolvidos e ricos em P (YOSHIDA, 1992), onde pode ocorrer a reestruturação de minerais de argila.

Recentemente, surgiu resina de troca iônica na forma de membrana, ou lâminas, que solucionou alguns dos problemas encontrados pela resina na forma de esferas. SEARLE (1988) usou resina aniônica na forma de lâmina para a extração de sulfato do solo, obtendo boa resposta. A resina em lâmina é cortada em tiras. Pelo seu formato, esta resina possibilita usos diferentes, antes não-adaptáveis para os outros métodos de extração. WANDER et al. (1995) usou resina de troca iônica na forma de lâmina para extrair e, posteriormente, avaliar a concentração de NO_3^- no solo *in situ*. Os resultados desse trabalho mostraram que a resina em lâmina foi um método prático e mostrou-se eficiente em detectar variações na disponibilidade de NO_3^- no solo.

Para avaliar a influência da mineralização da matéria orgânica sobre a disponibilidade de P, PARFITT et al. (1994) usaram a resina em lâmina, que foi capaz de avaliar as variações na disponibilidade de P. Nesse trabalho, a resina usada foi cortada em lâminas de 2,0 por 5,0 cm, capaz de adsorver até 5 mg de P, agitada com 2,5 cm^3 de solo e 25 mL de água, saturada com HCO_3^- e eluída com HCl.

COOPERBAND e LOGAN (1994) também trabalharam com resina na forma de lâminas para avaliar o "P-disponível". Trabalhando com a resina da IONICS Inc., Cooperband (1992), citado por COOPERBAND e LOGAN (1994), considerou-a de alta resistência física e química, sendo eficaz em extrair P de soluções mesmo em baixas concentrações. Esses autores também testaram a resina em lâminas, modelo 204-U-386 da IONICS Inc., considerando-a de alta reciclabilidade, não perdendo sua capacidade extratora após uso constante. Também relatam que a resina

tem alta seletividade para P em relação a sulfato e nitrato, podendo ter sua capacidade extratora afetada pelo pH da solução. Usando lâminas de 2,5 por 2,5 cm, saturadas e eluídas com NaCl, tiveram bons resultados em medir P de soluções puras e o P-lábil do solo, inclusive em solos de alta capacidade de adsorção de fosfato.

No Brasil, a resina de troca aniônica foi testada por MIOLA et al. (1995) em amostras de seis solos do Rio Grande do Sul, com diferentes características, submetidos a diferentes doses de P. A resina usada foi a da IONICS Inc., USA, cortada em tiras de 2,0 por 5,0 cm, saturada com HCl e depois NaHCO_3 , agitada com $2,5 \text{ cm}^3$ de solo e 40 mL de água e eluída com HCl. Os resultados mostraram que a resina em lâmina foi bom método de extração do "P-disponível" e teve seus resultados correlacionados com os do Mehlich-1 e da resina na forma de esferas.

Pela sua praticidade e habilidade de ser usada diretamente no solo, a resina em lâmina torna-se um método promissor para laboratórios de análise de rotina, provavelmente apresentando as vantagens da resina em esferas. Torna-se imperativo melhor conhecimento do método, ainda pouco estudado, de seu comportamento em relação a diferentes características do solo, comparando a resina com outros extratores.

As amostras foram selecionadas entre os grandes grupos: Areia Quartzosa (AQ), Latossolo Amarelo (LA), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Una (LU), procedentes dos municípios de Campina Verde (AQ-1 e LE-1), Estrela do Sul (LE-3 e LV-6), Paracatu (LV-3), Patrocínio (LV-6), Três Marias (LE-2, LV-1 e AQ-2), Uberaba (LV-2 e LV-6) e Viçosa (LU) no Estado de Minas Gerais; de Aracruz (LA-1) no Espírito Santo; e Apollândia (LA-2) no Maranhão. As amostras foram destorroadas, passadas por peneira de 4,0 mm de abertura e secas ao ar. Para a caracterização química e física, as amostras foram passadas em peneira de 2,0 mm.

Para a caracterização física (densidade), usou-se o método da pipeta adotado pela EMBRAPA (1979), determinando-se os pesos de argila, silte e areia e a densidade aparente das amostras (ALVAREZ V., 1992).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Solos utilizados

Foram utilizadas amostras da camada de 0 a 20 cm de catorze solos em suas condições naturais, com ampla variação física, química e mineralógica (Quadros 1 e 2). Os solos pertencem aos grandes grupos: Areia Quartzosa (AQ), Latossolo Amarelo (LA), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Una (LU), procedentes dos municípios de Campina Verde (AQ-1 e LE-1), Sete Lagoas (LE-3 e LV-6), Paracatu (LV-3), Patrocínio (LV-4), Três Marias (LE-2, LV-1 e AQ-2), Uberaba (LV-2 e LV-5) e Viçosa (LU) no Estado de Minas Gerais; de Aracruz (LA-1) no Espírito Santo; e Açailândia (LA-2) no Maranhão. As amostras foram destorroadas, passadas em peneira de 4,0 mm de abertura e secas ao ar. Para a caracterização química e física, as amostras foram passadas em peneira de 2,0 mm.

Para a caracterização física (Quadro 1), usou-se o método da pipeta adotado pela EMBRAPA (1979), determinando-se os teores de argila, silte e areia e a densidade aparente das amostras (ALVAREZ V., 1982).

Quadro 1 - Características físico e químicas das amostras dos solos

| Solo | Prem ^{1/} | CMAP ^{2/} | C.O. ^{3/} | DAP ^{4/} | V | m | Argila ^{5/} | Silte ^{5/} | Areia ^{5/} | Al ^{6/} | Ca ^{6/} | Mg ^{6/} | K ^{7/} | H + Al ^{8/} | CTC | | pH (1:2,5) | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------|-------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------------|---------|--------------------|------------------|--------------------|--|------------------------------------|--|
| | | | | | | | | | | | | | | | Efetiva | Total | H ₂ O | KCl | | | |
| mg L ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | | | | g cm ⁻³ | | g kg ⁻¹ | | mmol _c dm ⁻³ | |
| AQ-1 | 37,1 | 0,397 | 5,1 | 1,30 | 7,68 | 70,18 | 120 | 10 | 870 | 11,3 | 1,8 | 1,7 | 1,3 | 46,4 | 16,1 | 62,5 | 5,05 | 3,84 | | | |
| LE-1 | 21,1 | 0,659 | 8,2 | 1,25 | 10,50 | 64,38 | 230 | 20 | 750 | 14,1 | 2,4 | 4,2 | 1,2 | 52,2 | 21,9 | 74,1 | 4,97 | 4,83 | | | |
| LE-2 | 38,1 | 0,335 | 5,3 | 1,39 | 2,24 | 89,29 | 120 | 20 | 861 | 7,5 | 0,0 | 0,4 | 0,5 | 31,7 | 8,4 | 40,1 | 4,64 | 4,92 | | | |
| LV-1 | 3,4 | 1,673 | 22,8 | 0,98 | 2,77 | 78,26 | 670 | 160 | 170 | 9,0 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 78,9 | 11,5 | 90,4 | 5,34 | 4,04 | | | |
| LV-2 | 4,8 | 1,887 | 21,3 | 0,96 | 1,47 | 88,52 | 600 | 190 | 210 | 10,8 | 0,0 | 0,6 | 0,8 | 82,8 | 12,2 | 95,0 | 5,00 | 4,02 | | | |
| LV-3 | 4,6 | 1,728 | 21,1 | 0,94 | 2,66 | 78,76 | 680 | 210 | 109 | 8,9 | 1,0 | 1,3 | 0,1 | 78,9 | 11,3 | 90,2 | 4,70 | 4,07 | | | |
| LE-3 | 3,2 | 1,757 | 21,3 | 0,96 | 7,44 | 59,79 | 720 | 130 | 150 | 17,4 | 9,4 | 1,5 | 0,8 | 128,4 | 29,1 | 157,5 | 4,38 | 3,83 | | | |
| LV-4 | 1,8 | 1,936 | 28,5 | 1,00 | 5,56 | 49,06 | 540 | 240 | 220 | 5,2 | 1,9 | 1,6 | 1,9 | 86,6 | 10,6 | 97,2 | 4,64 | 4,21 | | | |
| LV-5 | 29,9 | 0,434 | 3,0 | 1,38 | 1,82 | 92,59 | 160 | 30 | 810 | 7,5 | 0,0 | 0,3 | 0,3 | 24,8 | 8,1 | 32,9 | 4,99 | 4,15 | | | |
| LA-1 | 29,9 | 0,453 | 2,5 | 1,31 | 5,86 | 82,42 | 350 | 20 | 631 | 15,1 | 1,9 | 1,0 | 0,3 | 36,4 | 18,2 | 54,6 | 4,40 | 3,69 | | | |
| LA-2 | 46,1 | 0,299 | 7,0 | 1,31 | 24,19 | 51,14 | 210 | 100 | 690 | 12,9 | 10,9 | 2,3 | 0,3 | 29,4 | 26,4 | 55,8 | 5,03 | 4,00 | | | |
| LU | 15,0 | 0,818 | 22,2 | 1,07 | 13,78 | 73,89 | 604 | 84 | 312 | 9,0 | 9,2 | 2,2 | 0,9 | 71,9 | 20,5 | 83,5 | 4,71 | 3,92 | | | |
| LV-6 | 12,0 | 1,001 | 23,8 | 0,99 | 15,81 | 26,82 | 842 | 16 | 143 | 5,9 | 6,1 | 3,0 | 0,6 | 87,0 | 22,4 | 103,4 | 4,79 | 4,65 | | | |
| AQ-2 | 40,1 | 0,033 | 8,2 | 1,37 | 3,20 | 74,01 | 126 | 46 | 829 | 6,1 | 5,9 | 0,0 | 0,7 | 62,9 | 8,1 | 65,1 | 5,00 | 4,05 | | | |

^{1/} P remanescente (ALVAREZ V., 1982).

^{2/} Capacidade máxima de adsorção de fosfato. (ALVAREZ V., 1985).

^{3/} Carbono orgânico. Método Walkley-Black (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981).

^{4/} Densidade aparente. (ALVAREZ V., 1982).

^{5/} Método da Pipeta (EMBRAPA, 1979).

^{6/} Extrator: KCl 1,0 mol/L (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981).

^{7/} Extrator: Mehlich-1 (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981).

^{8/} Extrator: Ca(Oac)₂ 0,5 mol/L, pH 7,0 (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981).

Quadro 2 - Composição mineralógica da fração argila, valores de Ki e teores de Fe₂O₃ e de Al₂O₃ das amostras dos solos

| Solo | Caulinita ^{1/} | Gibbsita ^{1/} | Goethita ^{1/} | Fe ₂ O ₃ ^{2/} | Al ₂ O ₃ ^{2/} | Ki |
|------|-------------------------|------------------------|------------------------|--|--|------|
| | g kg ⁻¹ | | | | | |
| AQ-1 | 86 | - | 37 | 26,9 | 35,7 | 2,20 |
| LE-1 | 165 | - | 67 | 68,9 | 66,3 | 1,97 |
| LE-2 | 98 | 16 | 28 | 23,0 | 51,0 | 1,52 |
| LV-1 | 354 | 284 | 96 | 87,9 | 327,5 | 0,85 |
| LV-2 | 190 | 438 | 55 | 58,8 | 363,2 | 0,41 |
| LV-3 | 507 | 243 | 97 | 81,8 | 360,7 | 1,11 |
| LE-3 | 143 | 101 | 143 | 116,8 | 277,8 | 1,51 |
| LV-4 | 144 | 304 | 177 | 141,2 | 257,0 | 0,44 |
| LV-5 | 83 | 73 | 29 | 25,0 | 81,6 | 0,80 |
| LA-1 | 298 | 14 | 22 | 29,9 | 128,6 | 1,83 |
| LA-2 | 243 | - | 30 | 24,0 | 86,7 | 2,21 |

Fonte: FERNANDEZ R. (1995).

^{1/} Método de Alocação (RESENDE et al., 1987).

^{2/} Ataque sulfúrico (VETTORI, 1969).

Para a caracterização química (Quadro 1), o P-remanescente foi obtido agitando-se 2,5 cm³ de solo com 25 mL de solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, durante uma hora (ALVAREZ V., 1985). A capacidade máxima de adsorção de fosfato foi determinada pela Isoterma de Langmuir (ALVAREZ V., 1982); o carbono orgânico, pelo método de Walkley-Black, descrito por DE FILIPPO e RIBEIRO (1997); o alumínio, o cálcio e o magnésio trocáveis foram extraídos com KCl 1,0 mol L⁻¹ (DE FILIPPO e RIBEIRO, 1997), sendo o cálcio e o magnésio determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o alumínio por titulometria, segundo a metodologia descrita pela EMBRAPA (1979); o potássio foi extraído pelo Mehlich-1 e determinado por fotometria de emissão de chama, segundo DE FILIPPO e RIBEIRO (1997). Na quantificação da acidez potencial, H + Al, foi utilizado acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0, sendo determinada por titulometria, conforme DE FILIPPO e RIBEIRO (1997); o pH foi determinado em água e em KCl 1,0 mol L⁻¹, usando a relação solo/solução de 1:2,5 (v:v).

Para a caracterização mineralógica (Quadro 2), determinaram-se os teores de Fe_2O_3 e de Al_2O_3 no extrato obtido pelo ataque sulfúrico às amostras de solo (VETTORI, 1969). Também foram obtidos difratogramas de raios-X da fração argila, quantificando-se os componentes mineralógicos pelo método de alocação (RESENDE et al., 1987).

Dois experimentos foram conduzidos: no primeiro foram usadas amostras dos 14 solos, enquanto no segundo, que inclui um cultivo em casa de vegetação, amostras de apenas três deles foram usadas.

3.2. Experimento com solos não-adubados e não-cultivados

Para este experimento, conduzido em laboratório, foram utilizadas amostras dos catorze solos que não receberam P ou qualquer outro elemento.

As resinas, em forma de lâmina e de esfera, usadas no experimento foram pré-condicionadas em solução de eletrólitos, de acordo com RAIJ et al. (1987).

A resina de troca aniônica em lâmina usada foi do tipo base forte, modelo AR.103.QDP, produzida pela Ionics Inc., USA. A lâmina foi cortada em tiras de 2,0 x 5,0 cm, como as usadas por PARFITT et al. (1994) e MIOLA et al. (1995). Testes preliminares mostraram que, para essa resina, uma lâmina dessa dimensão tem capacidade de adsorver cerca de 4,75 mg de P, semelhante ao descrito por PARFITT et al. (1994), suficiente para extrair todo o P do solo, mesmo naqueles que recebem elevadas doses deste elemento.

Foi também usada a resina de troca aniônica em esfera, Amberlite modelo IRA-400, tipo base forte, utilizada nas análises de solo em laboratórios de rotina do País.

O "P-disponível" das amostras de solo foi extraído pelos seguintes métodos:

1. Mehlich-1, com as amostras de solo passadas em peneira de 2,0 mm de abertura, conforme metodologia descrita por DE FILIPPO e RIBEIRO (1997) (MP).
2. Mehlich-1, com as amostras de solo moídas até passarem em peneira de 0,25 mm de abertura (MM).
3. Resina em esfera não-acondicionada em tela, com as amostras de solo passadas por peneira de 2,0 mm de abertura e moídas pela agitação com bola de vidro por 15 minutos (RE). É a metodologia adotada oficialmente em laboratórios do Estado de São Paulo, conforme descrito por RAIJ et al. (1987).
4. Resina em esfera acondicionada em saquinho de tela de poliéster, com as amostras de solo passadas em peneira de 2,0 mm de abertura (RES).
5. Resina em esfera acondicionada em saquinho de tela de poliéster, com as amostras de solo moídas até passarem em peneira de 0,25 mm de abertura (RESM).
6. Resina em lâmina, com as amostras de solo passadas em peneira de 2,0 mm de abertura (RL).
7. Resina em lâmina, com as amostras de solo passadas em peneira de 2,0 mm de abertura e moídas mediante agitação com bola de vidro por 15 minutos (RLB).
8. Resina em lâmina, com as amostras de solo moídas até passarem em peneira de 0,25 mm de abertura (RLM).

A moagem das amostras de solo usando bola de vidro, como recomendado por RAIJ et al. (1987), foi feita agitando-se a amostra, de 2,5 cm³, com uma bola de vidro (bola de gude) em 25 mL de água, por 15 minutos, separando-as em seguida. Nos tratamentos em que a amostra de solo passou por peneira de 0,25 mm de abertura, as amostras dos solos foram moídas em almofariz até passarem totalmente pela peneira.

Para a extração com a resina em lâmina, foi usado frasco de vidro de boca larga, de modo que a lâmina ficasse sempre imersa em solução, evitando sua dessecação, o que poderia afetar a eficiência da resina (RAIJ et al., 1987; COOPERBAND e LOGAN, 1994). A resina foi saturada com solução de NaHCO_3 1 mol L^{-1} , em pH 8,5. Na extração, agitou-se uma lâmina de resina, ou $2,5 \text{ cm}^3$ de resina em esfera, com $2,5 \text{ cm}^3$ de solo e 25 mL de água. A extração do P da resina foi feita com solução de HCl $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ e NH_4Cl $0,8 \text{ mol L}^{-1}$, e a recuperação da resina em solução de NH_4Cl 1 mol L^{-1} , como proposta por RAIJ et al. (1987).

Os métodos de extração com a resina em esfera e em lâmina foram iguais, variando apenas o grau de moagem das amostras de solo.

A dosagem do P no extrato obtido foi feita por espectrometria de absorção do complexo fosfomolibdico, usando o ácido ascórbico, segundo BRAGA e DEFELIPO (1974).

Os tratamentos constituíram um fatorial 14×8 , formado pela combinação dos 14 solos com os 8 diferentes métodos de extração, com diferentes formas de preparo do solo e duas repetições em delineamento inteiramente ao acaso.

3.3. Experimento com solos adubados e cultivados

Neste experimento, foram usados os solos LU, LV-6 e AQ-2 (Quadro 1). O solo de cada unidade experimental ($1,8 \text{ dm}^3$ de solo) recebeu dose de corretivo com base no critério de Al e Ca + Mg trocáveis (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 1989). Foi adicionada uma mistura de CaCO_3 e MgCO_3 na relação, em mols, de 4:1. Cada unidade experimental acondicionada em saco plástico recebeu água deionizada até a capacidade de campo e foi incubada por 30 dias. Após a incubação, o solo de cada vaso foi seco à sombra, destorroado e passado por peneira de 4,0 mm de abertura. Aplicaram-se, então, 6 doses de P, variáveis entre os solos, calculadas de acordo com seus teores de argila (Quadro 3).

Quadro 3 - Doses de fósforo aplicadas no experimento com solos cultivados

| Solo | Dose de P | | | | | |
|------|---------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| | mg dm ⁻³ | | | | | |
| LU | 0 | 40 | 80 | 160 | 240 | 400 |
| LV-6 | 0 | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 |
| AQ-2 | 0 | 20 | 40 | 80 | 120 | 200 |

Foram utilizadas combinações variáveis de KH_2PO_4 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ e $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, com posterior balanceamento dos outros nutrientes adicionados. Para isso, a fonte de P usada até a dose de 100 mg dm^{-3} de P foi o KH_2PO_4 , completando-se até a dose 300 mg dm^{-3} de P com $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; para atingir as maiores doses, de até 500 mg dm^{-3} de P, utilizou-se o $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. O K foi balanceado de modo que o solo de cada unidade experimental recebesse 125 mg dm^{-3} de K, como KCl e, ou, KH_2PO_4 . Da mesma forma, adicionou-se NH_4NO_3 para que todas as unidades experimentais recebessem 90 mg dm^{-3} de N. Em cada vaso, $1,8 \text{ dm}^3$ de solo foi homogeneizado e umedecido até a capacidade de campo, sendo, então, incubado novamente em saco plástico por mais 25 dias. Os solos, após a incubação, foram secos ao ar, destorroados e acondicionados em vasos de polietileno rígido, com capacidade de $2,0 \text{ dm}^3$. Cada vaso recebeu seis sementes de milho (*Zea mays* L.), var. BR 201, adicionando-se, em seguida, os demais nutrientes via solução nas seguintes quantidades por dm^3 : 2 mg de B; 2 mg de Cu; 5 mg de Zn; e 0,3 mg de Mo, usando as seguintes fontes: H_3BO_3 , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, respectivamente.

A umidade do solo foi mantida próxima da capacidade de campo durante todo o experimento, irrigando-se diariamente, com água deionizada, até a época da colheita.

Cinco dias após a emergência, fez-se um desbaste, deixando-se quatro plantas por vaso. Aos 15 e aos 30 dias após o plantio, aplicaram-se, na forma de uréia, 61 mg dm^{-3} de N. Aos 39 dias após o plantio, as plantas foram cortadas rente ao solo, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com ventilação forçada, a 70°C , até atingirem peso constante. O material vegetal foi pesado e moído, mineralizado via úmida pela mistura nitricoperclórica. No extrato, o P foi determinado por espectrofotometria de absorção molecular pelo método do complexo fosfomolibdico, descrito por BRAGA e DEFELIPO (1974).

O solo de cada vaso foi deixado secar, passado em peneira de $4,0 \text{ mm}$ de abertura, descartando-se as raízes, e, em seguida, homogeneizado. Amostras do solo de cada vaso foram retiradas e, em cada vaso extraiu-se o P pelos métodos já descritos no experimento anterior. Foi determinado o P segundo BRAGA e DEFELIPO (1974).

As resinas de troca aniônica, na forma de esfera e lâmina, foram as mesmas usadas no experimento anterior, bem como as metodologias de extração.

O experimento constou de 144 tratamentos, combinados em um fatorial $3 \times 6 \times 8$, formado pela combinação dos três diferentes solos, com os 6 níveis de P, com os 8 métodos de extração e diferentes métodos de preparo das amostras de solo. O delineamento usado foi o de blocos ao acaso, com três repetições.

3.4. Análise estatística dos experimentos

As análises estatísticas foram feitas usando o Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG) e o SAS.

3.4.1. Análise do experimento com solos não-adubados e não-cultivados

Para comparar os resultados, fez-se uso de contrastes estabelecidos de acordo com as hipóteses do trabalho. Testaram-se os seguintes contrastes:

Contraste 1 (C1) - comparação dos resultados obtidos pelos métodos que usaram o Mehlich-1 e os métodos que usaram a resina: (MP + MM) vs (RE + RES + RESM + RL + RLB + RLM);

Contraste 2 (C2) - avaliação do efeito da moagem das amostras de solo no Mehlich-1: MP vs MM;

Contraste 3 (C3) - comparação dos resultados obtidos pelos métodos que usaram a resina em esfera e os que usaram a resina em lâmina: (RE + RES + RESM) vs (RL + RLB + RLM);

Contraste 4 (C4) - avaliação do efeito da moagem das amostras de solo na resina em esfera: RES vs RESM;

Contraste 5 (C5) - avaliação do efeito do acondicionamento da resina em esfera dentro de saquinho de tela: RE vs RES;

Contraste 6 (C6) - avaliação do efeito da moagem das amostras de solo, em almofariz, na resina em lâmina: RL vs RLM; e

Contraste 7 (C7) - avaliação do efeito da moagem das amostras de solo, com bola de vidro, na resina em lâmina: RL vs RLB.

Equações entre os resultados dos métodos de extração, que são duas variáveis dependentes, foram ajustadas, para verificar se o valor do intercepto diferia de zero e se o valor da declividade da equação diferia de um. Nos casos em que o intercepto não diferiu de zero, a equação foi recalculada, passando-a pela origem.

Análise de correlação linear foi usada para a avaliação dos métodos de extração. Os solos foram divididos em grupos, para melhor avaliação do comportamento dos extratores, de acordo com algumas características: solos com maior teor de argila (teor de argila igual ou maior que 200 g kg^{-1}), solos com menor teor de argila (teor de argila menor que 200 g kg^{-1}), solos com alto valor de P-remanescente (P-rem. igual ou maior que 15 mg L^{-1}), solos com baixo valor de P-remanescente (P-rem. menor que 15 mg L^{-1}), solos de alta CMAP (CMAP igual ou maior que $0,5 \text{ mg cm}^{-3}$) e solos de baixa CMAP (CMAP menor que $0,5 \text{ mg cm}^{-3}$).

A distribuição dos solos segundo os valores do teor de argila, P-rem e CMAP, distinguiu dois conjuntos distintos de solos, determinando os pontos de corte entre os grupos de solo (200 g kg⁻¹ de argila, 15 mg L⁻¹ para P-rem e 0,5 mg cm⁻³ de P para CMAP).

Equações também foram ajustadas entre os resultados obtidos nos solos não-cultivados pelos métodos Mehlich-1 (MP), resina em esfera (RE), resina em esfera acondicionada em saquinho de poliéster (RES) e resina em lâmina (RL), com o objetivo de conhecer a relação entre eles. Ajustaram-se equações multivariadas, incluindo no modelo características dos solos que indicassem seu FCP ou outras características do solo que poderiam influenciar os resultados dos métodos de extração, de modo a melhorar a capacidade preditiva dos modelos ajustados, corrigindo, por exemplo, o desgaste do Mehlich-1 pelos solos mais tamponados.

3.4.2. Análise do experimento com solos adubados e cultivados

Foi feita análise de variância para a produção de matéria seca da parte aérea, para o teor de P na matéria seca e para o P extraído do solo. Foram ajustadas equações de regressão entre produção de matéria seca, teor e P acumulado na planta e P extraído do solo por cada método, como variáveis dependentes das doses de P adicionadas.

Os resultados foram testados usando-se os mesmos contrastes do experimento com solos não-cultivados. A eficiência dos métodos de extração foi avaliada mediante uso de correlação linear como indicador da resposta da planta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeito da moagem das amostras de solo sobre a extração de P nos solos não-adubados e não-cultivados

A análise de variância dos dados referentes a P extraído (Quadro 4) mostrou diferenças entre os extratores ($P \leq 0,001$) e sua dependência do tipo de solo.

Houve a tendência de a moagem aumentar a extração nos solos não-cultivados (Quadros 4 e 5), em torno de 34%, determinada pela equação ajustada pelo SAS (Quadro 6). Apesar disso, a moagem não aumentou significativamente a capacidade de extração do Mehlich-1, exceto para o solo AQ-1.

Os valores de P extraídos pelo Mehlich-1 foram, exceto para o AQ-1, menores que os extraídos pela resina em esfera (Quadro 4), o que pode explicar, em parte, a não-significância do efeito da moagem, já que aumentos de extração de mesma proporção que observados para a resina em esfera não são significativos para o Mehlich-1 e o são para a resina. A moagem poderia alterar a ligação do fósforo com o solo, tornando parte do P não-lábil passível de ser extraído, podendo justificar, em parte, a maior extração ao se moerem as amostras de solo. Um dos efeitos da moagem seria a quebra de estrutura de óxidos e minerais silicatados e de

agregados, expondo P que estaria constituindo sua estrutura. Esses resultados estão em concordância com os apresentados por YOSHIDA (1992), HOUBA et al. (1993) e TAKAHASHI (1996). Analisando o efeito da moagem sobre o P extraído em diferentes solos, esses autores relataram que a moagem, dependendo da sua intensidade, pode aumentar a quantidade de P obtido por extratores químicos. Este aumento seria causado pelo aumento da superfície exposta à extração (TAKAHASHI, 1996), ou pelo aumento de grupamentos ativos OH^- do solo (YOSHIDA, 1992). Por causa desses efeitos, TAKAHASHI (1996) relata que a forma de preparo das amostras de solo pode ser fonte potencial de variações entre os resultados de P extraído, o que requer cuidado na manipulação e comparação entre metodologias de análise de P do solo.

ARAÚJO (1997), trabalhando com eluição de P em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro, obteve resultados que sugerem um modelo de distribuição de P nos agregados, em que a maior parte do P-lável se encontra na região intra-agregados e a menor na superfície dos agregados. Assim, a moagem das amostras exporia fração do P de acesso mais difícil, permitindo maior extração do P, o que também justificaria a tendência de maiores teores de P ao se moerem as amostras de solo, principalmente nos solos não-cultivados, já que a adição de P proporcionaria o acúmulo inicial no exterior dos agregados. Apesar de a moagem proporcionar maior exposição do P de formas inicialmente mais estáveis e não-extraíveis, também proporciona maior desgaste do extrator pelo aumento do contato entre a solução extratora e o solo, o que justifica o fato de a moagem não ter aumentado significativamente a extração pelo Mehlich-1, apesar da tendência de aumento observada (Quadro 4).

A moagem proporcionou aumento da extração de P pela resina em esfera em saquinho, em média em 28%, embora esse efeito tenha sido significativo somente para parte dos solos (Quadro 5). O aumento da extração de P pela resina em esfera com a moagem é, provavelmente, devido às mesmas razões citadas para o Mehlich-1. Uma hipótese para o aumento de extração ser significativo para a resina em esfera e não para o Mehlich-1 pode ser devido ao fato de a moagem não afetar o poder de extração da resina, pois não promove maior desgaste do extrator, como ocorre para o Mehlich-1.

Quadro 4 - Valores médios de fósforo extraído pelos métodos Mehlich-1 (MP), Mehlich-1 com solo moído (MM), resina em esfera (RE), resina em esfera em saquinho (RES), resina em esfera em saquinho com solo moído (RESM), resina em lâmina (RL), resina em lâmina com solo moído por bola de vidro (RLB) e resina em lâmina com solo moído (RLM) em amostras dos solos não-adubados e não-cultivados

| Solo | MP | MM | RE | RES | RESM | RL | RLB | RLM |
|------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | mg dm ⁻³ | | | | | | | |
| AQ-1 | 2,60 | 4,68 | 6,98 | 3,70 | 4,00 | 2,73 | 2,11 | 2,40 |
| LE-1 | 2,48 | 3,00 | 6,15 | 4,40 | 4,55 | 2,52 | 1,87 | 2,14 |
| LE-2 | 1,60 | 1,80 | 5,05 | 2,70 | 3,50 | 2,09 | 1,13 | 1,23 |
| LV-1 | 0,98 | 1,30 | 5,02 | 3,90 | 3,90 | 2,02 | 0,91 | 1,16 |
| LV-2 | 0,83 | 0,90 | 5,82 | 4,15 | 4,80 | 1,79 | 1,35 | 1,63 |
| LV-3 | 1,05 | 0,98 | 5,00 | 3,80 | 4,20 | 1,45 | 0,91 | 1,50 |
| LE-3 | 1,95 | 2,08 | 5,97 | 5,25 | 5,15 | 1,73 | 1,29 | 1,35 |
| LV-4 | 0,80 | 0,88 | 3,75 | 3,30 | 4,95 | 1,57 | 0,63 | 0,91 |
| LV-5 | 0,70 | 0,90 | 3,86 | 2,00 | 3,15 | 0,94 | 0,27 | 0,80 |
| LA-1 | 0,65 | 0,85 | 4,05 | 2,15 | 2,90 | 0,88 | 0,29 | 0,64 |
| LA-2 | 1,48 | 1,53 | 4,33 | 2,85 | 3,85 | 1,58 | 0,90 | 1,28 |
| LU | 1,25 | 1,73 | 3,63 | 2,90 | 4,40 | 1,18 | 0,57 | 0,87 |
| LV-6 | 1,48 | 2,35 | 5,25 | 3,45 | 5,00 | 1,39 | 0,83 | 1,22 |
| AQ-2 | 1,10 | 1,75 | 3,11 | 2,40 | 6,90 | 0,82 | 0,35 | 2,88 |
| Média | 1,35 | 1,76 | 4,85 | 3,35 | 4,30 | 1,62 | 0,96 | 1,43 |
| C.V. (%) ^{1/} | 45,7 | 58,4 | 23,4 | 27,5 | 22,9 | 35,5 | 57,5 | 45,3 |

^{1/} Coeficiente de variação dos teores de P obtidos, considerando as médias dos solos.

Quadro 5 - Quadrados médios dos contrastes nos solos não-adubados e não-cultivados

| Solo | Contrastes | | | | | | |
|------|-------------------|-------|---------|-------------------|-------------------|-------|-------------------|
| | C 1 | C 2 | C 3 | C 4 | C 5 | C 6 | C 7 |
| AQ-1 | 0,0007 | 4,31* | 18,45** | 0,80 | 10,76** | 0,10 | 0,38 |
| LE-1 | 2,26* | 0,28 | 24,48** | 0,20 | 3,06** | 0,14 | 0,42 |
| LE-2 | 2,52* | 0,04 | 15,41** | 0,64 | 5,52** | 0,74 | 0,94 |
| LV-1 | 8,47** | 0,11 | 25,43** | 0,00 | 1,25 ^Δ | 0,74 | 1,24 ^Δ |
| LV-2 | 17,18** | 0,006 | 33,3** | 0,42 | 2,77* | 0,02 | 0,18 |
| LV-3 | 9,70** | 0,006 | 27,82** | 0,16 | 1,44 ^Δ | 0,003 | 0,29 |
| LE-3 | 6,25** | 0,02 | 48,04** | 0,01 | 0,52 | 0,14 | 0,19 |
| LV-4 | 6,88** | 0,006 | 20,75** | 2,72* | 0,20 | 0,44 | 0,88 ^Δ |
| LV-5 | 3,21** | 0,04 | 16,33** | 1,32 ^Δ | 3,44** | 0,02 | 0,46 |
| LA-1 | 3,43** | 0,04 | 17,69** | 0,56 | 3,61** | 0,06 | 0,34 |
| LA-2 | 2,78* | 0,002 | 17,62** | 1,00 | 2,17* | 0,10 | 0,47 |
| LU | 1,78 ^Δ | 0,23 | 22,99** | 2,25* | 0,53 | 0,10 | 0,36 |
| LV-6 | 2,68* | 0,77 | 35,02** | 2,40* | 3,24** | 0,02 | 0,32 |
| AQ-2 | 5,20** | 0,42 | 23,35** | 20,26** | 0,50 | 4,24* | 0,23 |

** , * , ^Δ Significativo pelo teste F a 1, 5 e 10%, respectivamente.

C1: (MP + MM) vs (RESM + RES + RE + RLM + RLB + RL); C2: MP vs MM; C3: (RESM + RES + RE) vs (RLM + RLB + RL); C4: RESM vs RES; C5: RES vs RE; C6: RLM vs RL; e C7: RLB vs RL.

Quadro 6 - Equações ajustadas entre os valores de P pelos métodos de extração nos solos não-adubados e não-cultivados, testando a hipótese de o intercepto (β_0) diferir de zero e de a declividade da reta (β_1) diferir de um

| Método | Equação | R ² |
|--|--|----------------|
| Mehlich-1 = função (resina) | $M = -1,2564 + 1,0241(\beta_1 = 1)R$ | 0,54 |
| MM = função (MP) | $MM = 1,3462(\beta_1 \neq 1^{**})MP$ | 0,98 |
| Resina esfera. = função (res. lâmina) | $Resf = 2,6515 + 1,1425(\beta_1 = 1)Rlam$ | 0,59 |
| Resina saq. moída = função (res. esf. não-moída) | $RESM = 3,8073 + 0,1210(\beta_1 \neq 1^{**})RES$ | 0,01 |
| Resina saq. = função (res. esfera padrão) | $RES = 0,6869(\beta_1 \neq 1^{**})RE$ | 0,98 |
| Resina lâmina moída = função (res. lâm. não-moída) | $RLM = 0,8223 + 0,4741(\beta_1 \neq 1^{**})RL$ | 0,17 |
| Resina lâm. moída com bola = função (res. lâmina) | $RLB = 0,6136(\beta_1 = 1)RL$ | 0,89 |

M = média dos valores pelos métodos que usaram o Mehlich-1; R = média dos valores obtidos pelos métodos que usaram resina em esfera e em lâmina; MM = Mehlich-1, com amostra de solo moída; MP = Mehlich-1; Resf = média dos valores obtidos pelos métodos que usaram a resina em esfera; Rlam = média dos valores obtidos pelos métodos que usaram a resina em lâmina; RESM = resina em esfera com a amostra de solo moída; RES = resina em esfera sem moagem das amostras de solo; RE = resina em esfera acondicionada em saquinho; RE = resina em esfera; RLM = resina em lâmina com a amostra de solo moída; RL = resina em lâmina; RLB = resina em lâmina com a amostra de solo moída por bola de vidro.

A forma de preparo das amostras de solo não afetou significativamente a extração pela resina em lâmina (Quadro 5). Somente no solo AQ-2, a moagem em almofariz aumentou, significativamente, a extração de P. A moagem com bola de vidro aumentou a extração de P ($P < 0,1$) apenas nos solos LV-1 e LV-4. A resina em lâmina extraiu, em média, 13% menos P quando a amostra foi moída, contrário ao que se esperava inicialmente. A análise de todos os dados em conjunto, pelo ajuste de uma equação entre RLB e RL e teste dos coeficientes da equação (Quadro 6), mostra que, estatisticamente, os métodos RL e RLB não diferem entre si.

Correlações entre os resultados dos métodos de extração (Quadro 7) mostram que o Mehlich-1 (MP) se correlacionou com todos os métodos de extração, com exceção da resina em esfera acondicionada em saquinho com a amostra de solo moída (RESM). Provavelmente, a resina em esfera (RESM), dado o efeito da moagem das amostras, seu modo de ação e maior poder extrator, extraiu formas de P não-extraíveis pelo Mehlich-1, já que MP correlacionou-se com a resina em esfera, que não teve moagem das amostras de solos (RE e RES). Todavia, a moagem não alterou o comportamento da resina em lâmina em relação ao Mehlich-1. Esse resultado sugere que devido à menor capacidade extratora, comparada à resina em esfera, a resina em lâmina não foi capaz de extrair formas de P que estariam, inicialmente, em formas não-extraíveis e que a moagem teria exposto. Assim, a resina em lâmina correlaciona-se com o Mehlich-1, embora a correlação entre os métodos diminua com a moagem das amostras.

A moagem das amostras fez com que os resultados do Mehlich-1 (MM) não se correlacionassem com os da resina em esfera acondicionada em saquinho (RES) (Quadro 7). Ao se fazer a moagem, podem ocorrer alterações quantitativas e qualitativas sobre as formas de P extraídas (YOSHIDA, 1992), o que possibilitou que o Mehlich-1 acessasse formas de P antes não-extraíveis, que a resina em esfera em saquinho, aparentemente, não foi capaz de extrair.

Quadro 7 - Coeficiente de correlação linear simples entre os valores médios de P extraído pelos métodos Mehlich-1 (MP), Mehlich-1 com solo moído (MM), resina em esfera (RE), resina em esfera em saquinho (RES), resina em esfera em saquinho com solo moído (RESM), resina em lâmina (RL), resina em lâmina com solo moído com bola de gude (RLB) e resina em lâmina com solo moído (RLM), em amostras dos solos não-adubados e não-cultivados

| | MP | MM | RE | RES | RESM | RL | RLB |
|------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|-------|
| MP | - | | | | | | |
| MM | 0,91*** | - | | | | | |
| RE | 0,72** | 0,66** | - | | | | |
| RES | 0,51* | 0,32 | 0,74** | - | | | |
| RESM | 0,18 | 0,19 | -0,04 | 0,29 | - | | |
| RL | 0,76*** | 0,68** | 0,84*** | 0,61** | -0,12 | - | |
| RLB | 0,87*** | 0,77*** | 0,91*** | 0,71** | 0,05 | 0,93*** | - |
| RLM | 0,53* | 0,59* | 0,32 | 0,24 | 0,70** | 0,35 | 0,47* |

*, **, *** Significativo pelo teste F a 5, 1 e 0,1%, respectivamente.

O único método que apresentou correlação com a resina em esfera acondicionada em saquinho com a amostra de solo moída (RESM), indicando modo de ação semelhante, foi a resina em lâmina com a amostra moída (RLM) (Quadro 7). O resultado do Mehlich-1 com a amostra de solo moída (MM) não se correlacionou com o da resina em esfera com a amostra de solo moída (RESM), provavelmente por causa da diferente forma de ação dos extratores, o que não é o caso da resina em esfera e da resina em lâmina. O comportamento semelhante entre esses dois métodos, em relação à moagem das amostras, é provavelmente devido ao mesmo comportamento da resina, seja em esfera ou em lâmina (Quadro 7).

4.2. Efeito da moagem das amostras de solo sobre a extração de P nos solos adubados e cultivados

Nos solos cultivados, os valores de P pelos diferentes métodos de extração aumentaram, como era esperado, com as doses de P aplicadas (Quadro 8).

A moagem das amostras não aumentou, significativamente, a capacidade de extração do Mehlich-1 nos solos LU e AQ-2 (Quadro 9). No solo LV-6, a moagem aumentou o P extraído ($P < 0,1$), sendo esse efeito facilmente visualizado na maior dose de P. Apesar da não-significância para todos os solos, houve um aumento médio de 17% do P extraído devido à moagem (Quadro 8). Esse aumento, embora não-significativo para todos os solos, ocorreu pelas mesmas razões que ocorreu no experimento com solos não-cultivados. Nos solos cultivados, recém-adubados com P, este elemento deve se encontrar em formas menos estáveis ou ainda não oclusas, sendo mais facilmente extraíveis, o que explicaria o menor aumento do P extraído proporcionado pela moagem nesses solos. Após a adição de fontes solúveis de P ao solo, ele é rapidamente adsorvido e, ou, precipitado, mantendo-se em equilíbrio com o P em solução (BARROW e SHAW, 1975). Com o tempo, o P-lábil passa para a forma não-lábil pela mudança na natureza da ligação entre o fosfato e a superfície sólida (BARROW, 1974; PARFITT, 1979), como a transformação de P-Al em P-Fe (GONÇALVES et al., 1989).

Quadro 8 - Valores médios de fósforo extraído pelos métodos Mehlich-1 (MP), Mehlich-1 com solo Moído (MM), resina em esfera (RE), resina em esfera em saquinho (RES), resina em esfera em saquinho com solo moído (RESM), resina em lâmina (RL), resina em lâmina com solo moído por bola de vidro (RLB) e resina em lâmina com solo moído (RLM) em amostras dos solos adubados e cultivados

| Solo | Dose de P | MP | MM | RE | RES | RESM | RL | RLB | RLM |
|------------------------|-----------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| mg dm ⁻³ | | | | | | | | | |
| LU | 0 | 1,57 | 1,93 | 3,04 | 2,56 | 3,66 | 1,34 | 0,59 | 0,87 |
| LU | 40 | 4,93 | 5,22 | 7,93 | 7,30 | 5,42 | 3,52 | 3,03 | 1,88 |
| LU | 80 | 10,68 | 10,40 | 19,75 | 12,38 | 15,11 | 5,21 | 4,42 | 3,79 |
| LU | 120 | 18,71 | 15,58 | 31,66 | 31,66 | 29,08 | 11,14 | 10,39 | 8,96 |
| LU | 240 | 25,02 | 21,50 | 47,66 | 48,33 | 32,69 | 17,28 | 17,36 | 14,42 |
| LU | 400 | 38,46 | 56,39 | 86,29 | 87,60 | 90,17 | 37,70 | 33,85 | 37,59 |
| Média | | 16,56 | 18,50 | 32,72 | 31,64 | 29,36 | 12,70 | 11,61 | 11,25 |
| LV-6 | 0 | 2,04 | 2,66 | 4,41 | 3,12 | 4,31 | 1,40 | 0,81 | 1,25 |
| LV-6 | 50 | 6,98 | 8,68 | 12,42 | 13,38 | 13,97 | 5,06 | 4,98 | 3,76 |
| LV-6 | 100 | 12,25 | 13,91 | 25,87 | 17,32 | 22,71 | 7,96 | 7,51 | 7,50 |
| LV-6 | 200 | 23,04 | 25,27 | 55,15 | 41,05 | 48,40 | 18,24 | 16,20 | 16,97 |
| LV-6 | 300 | 39,20 | 45,27 | 81,60 | 65,87 | 80,95 | 27,78 | 25,93 | 28,09 |
| LV-6 | 500 | 63,95 | 93,38 | 111,45 | 145,40 | 143,82 | 54,26 | 43,94 | 61,48 |
| Média | | 24,58 | 31,53 | 48,48 | 47,69 | 52,36 | 19,12 | 16,56 | 19,84 |
| AQ-2 | 0 | 1,31 | 2,39 | 2,57 | 2,13 | 5,77 | 0,82 | 0,37 | 2,23 |
| AQ-2 | 20 | 3,72 | 6,49 | 5,36 | 4,94 | 6,02 | 3,01 | 3,83 | 3,86 |
| AQ-2 | 40 | 8,16 | 11,36 | 11,99 | 10,46 | 12,55 | 6,93 | 5,72 | 6,97 |
| AQ-2 | 80 | 21,42 | 22,86 | 22,40 | 29,56 | 26,42 | 16,74 | 12,84 | 15,15 |
| AQ-2 | 120 | 39,25 | 37,45 | 44,59 | 40,44 | 37,36 | 20,55 | 18,86 | 22,60 |
| AQ-2 | 200 | 69,77 | 74,77 | 85,31 | 67,49 | 51,73 | 41,40 | 36,38 | 38,92 |
| Média | | 23,94 | 25,89 | 28,70 | 25,84 | 23,31 | 14,91 | 13,00 | 14,95 |
| C.V. (%) ^{1/} | | 27,4 | 14,4 | 24,2 | 20,4 | 17,1 | 12,9 | 9,5 | 21,9 |

^{1/} Média dos coeficientes de variação dos teores de P obtidos em cada tratamento, considerando todas as observações.

Quadro 9 - Quadrado médio dos contrastes nos solos adubados e cultivados

| Solo | Contraste | | | | | | |
|------|--------------------|--------------------|------------|-------|-------|-------|------|
| | C 1 | C 2 | C 3 | C 4 | C 5 | C 6 | C 7 |
| LU | 72,60 ^Δ | 5,64 | 1.691,3*** | 7,80 | 1,74 | 3,15 | 1,77 |
| LV-6 | 159,48* | 72,45 ^Δ | 4.325,4*** | 32,70 | 0,93 | 0,78 | 9,84 |
| AQ-2 | 103,35* | 5,70 | 612,2*** | 9,60 | 12,67 | 0,002 | 5,46 |

Δ, *, ** Significativo pelo teste F a 10, 5 e 1%, respectivamente.

C1: (MP + MM) vs (RESM + RES + RE + RLM + RLB + RL); C2: MP vs MM; C3: (RESM + RES + RE) vs (RLM + RLB + RL); C4: RESM vs RES; C5: RES vs RE; C6: RLM vs RL; e C7: RLB vs RL.

O efeito da moagem para a resina em esfera foi menor nos solos cultivados do que o observado para os não-cultivados, pelas mesmas razões descritas para o Mehlich-1. Nesses solos, a moagem não aumentou significativamente a extração de P. Na média dos solos cultivados, a resina em esfera extraiu quantidades semelhantes de P, independente do modo de preparo da amostra. O não-aumento de P extraído pode ser devido ao fato de que, em alguns casos isolados, como na dose 240 mg dm⁻³ de P no LU, houve inclusive a redução da extração de P com a moagem (Quadros 8 e 9). A redução do P extraído devido à moagem foi observada em algumas situações por YOSHIDA (1992), HOUBA et al. (1993) e TAKAHASHI (1996), e pode estar ligada à reagregação de minerais que uma moagem prolongada pode provocar. Esse resultado é aplicável principalmente para solos ou materiais pouco cristalizados, não sendo estritamente verdadeiro para os solos aqui usados, que não sofreram moagem tão intensa. Explicação para a redução de extração em algumas amostras pode ser encontrada no trabalho de YOSHIDA (1992), que utilizou ampla gama de solos, incluindo solo oxidico, e concluiu que em solos ricos em P, como é o caso mais freqüente de solos adubados e cultivados, a moagem prolongada pode induzir à formação de compostos de P e novas ligações entre a fase sólida do solo e o fosfato, diminuindo a extração de P.

Quanto à resina em lâmina, moer ou não o solo com almofariz não causou diferença significativa do P extraído (Quadro 9). A menor capacidade extratora da resina em lâmina, comparada à da resina em esfera, provavelmente não permitiu que esta acessasse formas de P que, porventura, se tornaram extraíveis com a moagem das amostras de solo.

Nesses solos, a moagem das amostras de solo reduziu a variabilidade nos resultados do Mehlich-1 e resina em esfera, como pode ser observado pela redução do C.V. dos métodos. Para a resina em lâmina, este resultado não foi consistente.

Todos os métodos de extração correlacionaram-se, significativamente, entre si nos solos cultivados (Quadro 10). Com a adição de doses de P, os métodos extraíram quantidades crescentes de P, resultando em coeficientes de correlação mais altos do que os obtidos em solos não-cultivados (Quadro 7). Devido ao grande efeito da adição de P, o método de preparo das amostras de solo aparentemente não influenciou na correlação entre os métodos de extração. Em trabalhos que usaram técnica semelhante, como o de MOURA FILHO (1990), os resultados da resina em esfera também foram altamente correlacionados com os do Mehlich-1.

Fez-se a média da declividade das curvas de P recuperado em função do P adicionado dos métodos que usaram o Mehlich-1, a resina em esfera e a resina em lâmina, para os três solos, com o objetivo de comparar a capacidade extratora dos métodos nos diferentes solos (Quadro 11). O Mehlich-1 apresentou maior declividade do que a resina em lâmina, confirmando sua maior capacidade extratora nos solos cultivados. A calagem, seguida da adição de P aos solos, leva a aumentos do P-Ca do solo, menores que os observados para o P-Al e P-Fe (GONÇALVES et al., 1989; VIÉGAS, 1991). O Mehlich-1, além de deslocar o P adsorvido, solubiliza o P-Ca (NOVELINO et al., 1985), originalmente de baixa solubilidade, enquanto a resina de troca aniônica não extrai essa forma de P (RAIJ et al., 1987), justificando a maior capacidade extratora do Mehlich-1, em relação à resina em lâmina, nos solos cultivados, enquanto nos solos não-cultivados esta extraiu ligeiramente mais P.

Quadro 10 - Coeficientes de correlação linear simples entre os valores médios de P extraído pelos métodos Mehlich-1 (MP), Mehlich-1 com solo moído (MM), resina em esfera (RE), resina em esfera em saquinho (RES), resina em esfera em saquinho com solo moído (RESM), resina em lâmina (RL), resina em lâmina com solo moído com bola de gude (RLB) e resina em lâmina com solo moído (RLM) em amostras dos solos adubados e cultivados

| | MP | MM | RE | RES | RESM | RL | RLB |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| MP | - | | | | | | |
| MM | 0,97*** | - | | | | | |
| RE | 0,93*** | 0,95*** | - | | | | |
| RES | 0,89*** | 0,95*** | 0,96*** | - | | | |
| RESM | 0,83*** | 0,92*** | 0,94*** | 0,98*** | - | | |
| RL | 0,96*** | 0,99*** | 0,97*** | 0,97*** | 0,94*** | - | |
| RLB | 0,96*** | 0,98*** | 0,98*** | 0,96*** | 0,93*** | 0,99*** | - |
| RLM | 0,94*** | 0,99*** | 0,96*** | 0,97*** | 0,95*** | 0,99*** | 0,98*** |

*** Significativo pelo teste F a 0,1%.

Quadro 11 - Declividade das curvas de P recuperado pelos extratores em função do P adicionado ($\text{mg dm}^{-3}/\text{mg dm}^{-3}$), média dos métodos que usaram o Mehlich-1, a resina em esfera e em lâmina

| Solo | Extrator | Declividade |
|------|------------------|-------------|
| LU | Mehlich-1 | 0,109 |
| LU | resina em esfera | 0,211 |
| LU | resina em lâmina | 0,089 |
| LV-6 | Mehlich-1 | 0,153 |
| LV-6 | resina em esfera | 0,267 |
| LV-6 | resina em lâmina | 0,104 |
| AQ-2 | Mehlich-1 | 0,358 |
| AQ-2 | resina em esfera | 0,336 |
| AQ-2 | resina em lâmina | 0,189 |

A curva de extração da resina em esfera apresentou declividade maior que a do Mehlich-1 e a da resina em lâmina, demonstrando sua maior capacidade extratora (Quadro 11). A maior capacidade extratora da resina em esfera, em relação ao Mehlich-1 e à resina em lâmina, é confirmada em outros trabalhos (OLIVEIRA, 1986; CANTARELLA, 1993; SHAHANDEH et al., 1995; CAMPELLO et al., 1994; FERNANDEZ R., 1995). Nos solos com maior FCP (LU e LV-6), as declividades das curvas de extração foram menores do que no solo AQ-2, cujas características indicam menor FCP (Quadro 1). A declividade das curvas de P recuperado em função do P adicionado, segundo BAHIA FILHO (1982), indica o FCP do solo. FREIRE et al. (1979), trabalhando com diferentes extratores químicos, observaram valores de declividade significativamente correlacionados com características do solo que refletem o FCP. O solo AQ-2, de menor FCP, oferece menor resistência à dessorção do P-lábil e tem menor capacidade de desgastar o Mehlich-1 do que o LU e o LV-6. A resina em esfera, como a resina em lâmina, também tiveram a capacidade extratora afetada por características do solo relacionadas ao FCP, embora em menor grau que o Mehlich-1. Com a resina em esfera, teve-se maior declividade das curvas de P recuperado em função do adicionado no solo AQ-2.

4.3. Avaliação dos extratores nos solos não-adubados e não-cultivados

Os valores de "P-disponível" nos solos não-adubados e não-cultivados foram muito baixos (Quadro 4). Com a resina em lâmina, principalmente para o RLB, esses valores tornam-se uma limitação do método para solos com muito pouco "P-disponível".

Na avaliação do "P-disponível" pelos métodos de extração, foram observados diferentes resultados, provavelmente devido às diferentes formas de ação dos extratores entre os solos. Extratores ácidos, como o Mehlich-1, têm seus resultados dependentes do FCP dos solos (BAHIA FILHO et al., 1983a; MUNIZ et al., 1985; NOVAIS et al., 1988), enquanto

a resina é pouco sensível ao FCP (RAIJ et al., 1987), extraíndo P do solo à semelhança das raízes das plantas, o que seria uma vantagem do método da resina (COOKE e HISLOP, 1963). Mas trabalhos como o de HOFORD e MATTINGLY (1976) mostram que, a exemplo dos extratores químicos, as plantas também são sensíveis ao FCP.

A análise do coeficiente de variação (Quadro 4) confirma que o Mehlich-1 apresenta maior variação entre seus resultados, provavelmente devido à maior sensibilidade deste a características do solo relacionadas ao FCP. Os métodos que utilizam a resina em esfera foram os que apresentaram menor variação dos resultados entre os solos, indicando a menor sensibilidade do método ao FCP (NOVAIS et al., 1988). A resina em lâmina apresentou variação intermediária dos resultados, entre solos, do Mehlich-1 e da resina em esfera, provavelmente devido à menor capacidade extratora da resina em lâmina, já que o modo de ação da resina nas duas formas é o mesmo.

A resina em esfera extraiu, em média, cerca de 260% a mais de P que o Mehlich-1 (Quadro 4). Essa diferença foi significativa para todos os solos, menos para o AQ-1 (Quadro 5). Os valores de P extraídos pela resina em esfera tendem a ser maiores do que os extraídos pelo Mehlich-1, como registrado por OLIVEIRA (1986) e CAMPELLO et al. (1994), e isso pode ser notado nas tabelas de interpretação de análises de solo que envolvem a resina e o Mehlich-1 (CANTARELLA, 1993), nas quais os valores de níveis críticos para a resina são superiores aos do Mehlich-1.

A resina em esfera, em comparação com a resina em lâmina, tem capacidade de extrair mais P dos solos não-cultivados (Quadros 4 e 5).

A resina em lâmina é capaz de adsorver 4,75 mg P por lâmina de 2,0 x 5,0 cm, enquanto a resina em esfera adsorve 147,0 mg de P nos 2,5 cm³ de resina usados na análise. A menor quantidade e, principalmente, a menor superfície específica da resina em lâmina, em relação à resina em esfera, pode ser uma das causas da menor adsorção de P pela resina em lâmina. A lâmina de resina é prensada em polímero de vinil reforçado (COOPERBAND e LOGAN, 1994), uma matriz inerte

com função de sustentação da lâmina, não contribuindo para a adsorção aniônica. A distribuição espacial da resina na forma de esferas pode ser uma vantagem para aumentar a captura de P da solução. Ajustes na metodologia da resina em lâmina, como o aumento do tamanho da lâmina ou o uso de mais de uma lâmina, poderiam aproximar os valores de P determinados pelos dois métodos, se conveniente.

O acondicionamento da resina em esfera em saquinhos de poliéster reduziu significativamente sua capacidade de extração de P na maioria dos solos (Quadros 5 e 6). De forma geral, a resina em esfera não-acondicionada em saquinho (RE) extraiu 45% a mais de P que a resina acondicionada em saquinho (RES) (Quadros 4 e 6). Pode-se explicar a menor extração ao se acondicionar a resina em saquinho por causa da separação física entre resina e solo, prejudicando a adsorção de P pela resina, principalmente em solos com maior FCP, que, segundo BAHIA FILHO (1982), apresentam maior restrição à dessorção de P pelo solo, devido à maior associação deste à fase sólida. Testando a metodologia da resina aniônica, Barrow e Shaw (1977), citados por CABALA R. e SANTANA (1983), apresentaram resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho, não recomendando o acondicionamento da resina em saquinho.

Ao acondicionar a resina em esfera em saquinho de tela, fez-se com que esta (RES) piorasse sua correlação com o Mehlich-1 (MP), em relação à resina não-acondicionada em saquinho (RE) (Quadro 7).

Variações na técnica de determinação de P nas análises de solo, como relação solo:solução, tempo de agitação, temperatura, reagentes constituintes, entre outras, influenciam nos resultados, mas permitem melhorias nas metodologias (RAIJ, 1978). Com o objetivo de tornar a metodologia da resina mais fácil de ser executada, foi introduzida uma série de modificações no método, como o uso de saquinho acondicionando a resina em esfera e a moagem das amostras de solo com diferentes intensidades (AMER et al., 1955; COOKE e HISLOP, 1963; PALMA e FASSBENDER, 1970; ZUNINO et al., 1972; SIBBSEN, 1977; RAIJ et al.,

1987; FULLIN e BRAGA, 1990). Os resultados obtidos mostram que variações na metodologia devem ser evitadas, pois constituem-se fontes potenciais de variação nos resultados das análises, impondo restrições sobre a interpretação e as comparações de resultados. Modificações na metodologia devem ser usadas somente quando precedidas por testes de correlação e calibração que demonstrem melhoria na capacidade de determinar o "P-disponível".

Nos solos mais argilosos (Quadro 12), as correlações entre os valores de P extraído pelos métodos que usam o Mehlich-1 (MP e MM) e aqueles que usam a resina pioraram em relação às correlações obtidas ao se analisarem todos os solos em conjunto (Quadro 7). O Mehlich-1 é sensível ao FCP do solo e, portanto, desgastado pela fração ativa dos solos mais tamponados (NOVAIS e KAMPRATH, 1979; BAHIA FILHO et al., 1983b), como os solos mais argilosos, diminuindo seu poder de extração de P. A resina em esfera e, aparentemente, a resina em lâmina têm seu poder de extração pouco influenciado pelo FCP do solo (NOVAIS et al., 1988), o que justifica a baixa correlação entre os resultados que envolvem o Mehlich-1 e a resina aniônica nos solos mais argilosos. RAIJ et al. (1986) mostraram que extratores ácidos sofrem efeito do FCP, tendendo a registrar baixos valores de "P-disponível" em solos argilosos, mesmo naqueles mais ricos em P.

Houve aumento nos valores das correlações entre os resultados dos métodos em que houve a moagem, principalmente entre a resina em esfera acondicionada em saquinho com a amostra de solo moída (RESM), e os resultados dos outros métodos para os solos mais argilosos, separadamente (Quadro 12).

Ao analisar apenas solos com menor teor de argila, em que o desgaste do extrator Mehlich-1 é menor, verifica-se que a correlação entre P extraído pelo Mehlich-1 (MP) e pela resina em esfera (RE) aumenta consideravelmente (Quadro 12). Nessa condição, os resultados dos métodos que usam Mehlich-1 (MP e MM), de forma geral, correlacionaram-se melhor com os dos métodos que usam resina (RE, RES, RL e RLB).

Ao analisar apenas solos com menor teor de argila, SILVA e RAIJ (1996) também observaram que a correlação entre os resultados da resina e do Mehlich-1, bem como entre estes e a resposta da planta, melhorou quando comparada com a obtida para todos os solos.

Os métodos de análise de resina em que as amostras de solo foram moídas (RESM e RLM) não se correlacionaram com os outros métodos quando os solos menos argilosos foram considerados separadamente (Quadro 12). Para o conjunto de solos, os métodos de resina que receberam moagem tiveram seus resultados mais bem relacionados com os dos outros métodos (Quadro 7). Em solos arenosos, pouco tamponados, com pequena capacidade de adsorção de P, a moagem pode liberar P mais facilmente do que em solos de alto FCP, que têm P sob ligações mais estáveis e retêm esse P com maior energia (BAHIA FILHO e BRAGA, 1983b). Uma possível explicação para as melhores correlações envolvendo os métodos que receberam moagem nos solos com alto FCP é que, nesses solos, a moagem aumenta o valor absoluto de P extraído, o que resulta em maior discriminação de valores, possibilitando melhor detecção de diferenças significativas.

Ao agrupar os solos não-cultivados de acordo com sua CMAP e P-remanescente, distinguiram-se praticamente os mesmos grupos de solo, confirmando que ambos são bons estimadores do FCP do solo (NEVES, 1983). Por isso, apenas os resultados das análises com P-remanescente são apresentados. O uso do P-remanescente, ou mesmo da CMAP, como indicador do FCP é mais completo que o uso do teor de argila, pois fornece informação qualitativa, além de quantitativa, sobre a fração ativa do solo. Assim, solos com conteúdos semelhantes de argila podem ter diferentes comportamentos quanto ao P, em razão de diferenças na extensão de sua superfície adsorvente (BAHIA FILHO, 1982; NEVES, 1983).

Quadro 12 - Coeficientes de correlação linear simples entre os valores médios de P extraído pelos métodos Mehlich-1 (MP), Mehlich-1 com solo moído (MM), resina em esfera (RE), resina em esfera em saquinho (RES), resina em esfera em saquinho com solo moído (RESM), resina em lâmina (RL), resina em lâmina com solo moído com bola de gude (RLB) e resina em lâmina com solo moído (RLM), em amostras dos solos não-adubados e não-cultivados, segundo seu teor de argila

| | MP | MM | RE | RES | RESM | RL | RLB |
|--|---------|-------------------|---------|--------|-------------------|---------|---------|
| Solos com maior teor de argila^{1/} | | | | | | | |
| MP | - | | | | | | |
| MM | 0,93*** | - | | | | | |
| RE | 0,59* | 0,51 ^Δ | - | | | | |
| RES | 0,56* | 0,42 | 0,84** | - | | | |
| RESM | 0,55* | 0,56* | 0,65* | 0,76** | - | | |
| RL | 0,62* | 0,52 ^Δ | 0,70* | 0,70* | 0,41 | - | |
| RLB | 0,74** | 0,61* | 0,87*** | 0,80** | 0,62* | 0,88*** | - |
| RLM | 0,68* | 0,55 ^Δ | 0,83** | 0,69* | 0,55* | 0,83** | 0,94*** |
| Solos com menor teor de argila^{2/} | | | | | | | |
| MP | - | | | | | | |
| MM | 0,96** | - | | | | | |
| RE | 0,93* | 0,87 ^Δ | - | | | | |
| RES | 0,99*** | 0,98** | 0,91* | - | | | |
| RESM | -0,13 | -0,01 | -0,47 | -0,07 | - | | |
| RL | 0,94* | 0,83 ^Δ | 0,97* | 0,91* | -0,43 | - | |
| RLB | 0,99** | 0,93* | 0,98* | 0,97* | -0,28 | 0,98* | - |
| RLM | 0,40 | 0,52 | 0,05 | 0,46 | 0,84 ^Δ | 0,08 | 0,25 |

^Δ, *, **, *** Significativo pelo teste F a 10, 5, 1 e 0,1%, respectivamente.

^{1/} Teor de argila maior ou igual a 200 g kg⁻¹.

^{2/} Teor de argila menor que 200 g kg⁻¹.

Nos resultados apresentados no Quadro 13, fica ainda mais evidente a diferença de comportamento do Mehlich-1 e da resina. Analisando grupo de solos de P-remanescente baixo, que têm alto FCP, os métodos que usam o Mehlich-1 (MP e MM) não se correlacionam significativamente com os métodos que usam a resina de troca aniônica (RE, RES, RL, RLB e RLM). A sensibilidade do extrator Mehlich-1 ao FCP explica o comportamento diferente deste extrator daquele da resina, esta pouco sensível ao FCP do solo. Por essa razão, na interpretação das análises de solo feitas com métodos sensíveis ao FCP, torna-se necessário o uso de um fator de correção da perda do poder de extração nos solos com maior FCP, dispensável para a resina. O uso de alguma característica do solo estimadora do FCP melhora substancialmente a interpretação de resultados das análises de "P-disponível" feitas com extratores sensíveis (NOVAIS e KAMPRATH, 1979a; BAHIA FILHO et al., 1983b; MOURA FILHO, 1990; SILVA e RAIJ, 1996). Segundo GUNARY e SUTTON (1967), o uso de um fator que estime o FCP, além de uma medida do fator quantidade, este determinado por extratores químicos, melhora substancialmente o poder preditivo do "P-disponível" para as plantas.

Resultados da análise de correlação feita entre os resultados dos métodos de análise nos solos de menor FCP (Quadro 13), expresso pelos altos valores de P-remanescente, mostram comportamento semelhante do Mehlich-1 e da resina. Nesses solos, que são menos tamponados e que, assim, têm menor capacidade de desgastar os extratores ácidos, os métodos que envolvem Mehlich-1 tiveram correlações significativamente melhores com os métodos de extração que usaram a resina do que quando se analisaram todos os solos (Quadro 7) ou o grupo de solos de alto FCP (Quadro 13).

Correlações significativas entre teores de "P-disponível" por diferentes extratores têm sido atribuídas à extração preferencial de uma mesma forma de P (BAHIA FILHO e BRAGA, 1975; KAMPRATH e WATSON, 1980).

Quadro 13 - Coeficientes de correlação linear simples entre os valores médios de P extraído pelos métodos Mehlich-1 (MP), Mehlich-1 com solo moído (MM), resina em esfera (RE), resina em esfera em saquinho (RES), resina em esfera em saquinho com solo moído (RESM), resina em lâmina (RL), resina em lâmina com solo moído com bola de gude (RLB) e resina em lâmina com solo moído (RLM), em amostras dos solos não-adubados e não-cultivados, segundo seu valor de P remanescente

| | MP | MM | RE | RES | RESM | RL | RLB | RLM |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|-------------------|--------|-----|
| Solos de baixo P remanescente | | | | | | | | |
| MP | - | | | | | | | |
| MM | 0,86** | - | | | | | | |
| RE | 0,41 | 0,22 | - | | | | | |
| RES | 0,53 | 0,16 | 0,84** | - | | | | |
| RESM | 0,73* | 0,67 ^Δ | 0,65 ^Δ | 0,52 | - | | | |
| RL | -0,16 | -0,30 | 0,55 | 0,60 ^Δ | -0,14 | - | | |
| RLB | 0,27 | -0,01 | 0,93** | 0,87** | 0,59 | 0,59 ^Δ | - | |
| RLM | 0,03 | -0,18 | 0,85** | 0,62 ^Δ | 0,43 | 0,38 | 0,85** | |
| Solos de alto P remanescente | | | | | | | | |
| MP | - | | | | | | | |
| MM | 0,92** | - | | | | | | |
| RE | 0,91** | 0,87** | - | | | | | |
| RES | 0,95*** | 0,80* | 0,84** | - | | | | |
| RESM | 0,15 | 0,17 | -0,23 | 0,15 | - | | | |
| RL | 0,96*** | 0,85** | 0,96*** | 0,88** | -0,10 | - | | |
| RLB | 0,99*** | 0,92** | 0,96*** | 0,93** | -0,01 | 0,98** | - | |
| RLM | 0,58 ^Δ | 0,66 ^Δ | 0,26 | 0,53 | 0,87** | 0,34 | 0,46 | |

^Δ, *, **, *** Significativo pelo teste F a 10, 5, 1 e 0,1%.

P-remanescente alto: maior ou igual a 15 mg L⁻¹. P-remanescente baixo: menor que 15 mg L⁻¹.

A disponibilidade de P parece ser regulada principalmente pelo P-AI do solo (NOVAIS e KAMPRATH, 1978), forma que, para as condições encontradas comumente no sistema solo-planta, governa a atividade de P na solução (LINDSAY, 1979). RAIJ (1978) descreve a forma P-AI como a fonte preferencial de P extraída pela resina. De forma semelhante, o Mehlich-1, em solos altamente intemperizados, com teores de P-Ca usualmente baixos, atua preferencialmente sobre o P-AI e menos sobre o P-Fe (KAMPRATH e WATSON, 1980). Devido à ação preferencial sobre a mesma forma de P no solo, os resultados da resina e do Mehlich-1 correlacionaram-se significativamente (Quadro 7). Resultados semelhantes foram encontrados por VIÉGAS (1991), CAJUSTE et al. (1994) e FREITAS et al. (1995), que também apontaram a capacidade seletiva dos métodos de atuar sobre as mesmas frações de P no solo como explicação para as correlações observadas entre eles (VIÉGAS, 1991 e CAJUSTE et al., 1994).

O P extraído pela resina em lâmina correlacionou-se significativamente com o extraído pela resina em esfera e pelo Mehlich-1 (Quadro 7). A resina em lâmina mostrou comportamento semelhante a esses métodos, sendo, assim, um método promissor para as análises em laboratórios de rotina.

Para conhecer os fatores que poderiam explicar a diferença entre os valores de P extraídos pelos métodos do Mehlich-1, da resina em esfera e resina em lâmina, foram determinados os coeficientes de correlação entre as características dos solos não-cultivados e a diferença entre os valores de P extraídos pelos métodos de extração (Quadro 14).

A diferença entre os resultados da resina em esfera e os do Mehlich-1 (Quadro 11) correlacionou-se significativamente com a CMAP e o P-remanescente ($P < 0,1$), isto é; quanto maior a CMAP e, conseqüentemente, menor o P-remanescente, maior a diferença entre o "P-disponível" pelos dois métodos (Quadro 14). Nos solos de maior FCP, há o desgaste do Mehlich-1, o que não ocorre, na mesma grandeza, com a resina, aumentando a diferença entre os resultados dos dois métodos.

Os teores de argila e de areia não se correlacionaram significativamente com a diferença entre os métodos, como ocorreu com o P-remanescente e a CMAP, sugerindo não ser o teor de argila um indicador tão eficiente das propriedades do solo relacionadas ao FCP. Por essa razão, BAHIA FILHO et al. (1983a) propõem que se identifique o componente mineralógico do solo responsável pelas variações de disponibilidade de P, embora esse procedimento nem sempre tenha viabilidade prática.

Para a resina em esfera e a resina em lâmina, a diferença não está associada ao FCP do solo, mas à CTC efetiva ($P < 0,1$) e Al^{3+} ($P < 0,05$) do solo (Quadro 14).

Anteriormente, foi mostrada a pouca sensibilidade da resina em esfera e resina em lâmina ao FCP. Da mesma forma, a diferença entre o P determinado pelos dois métodos, que tem a mesma forma de ação, não é explicado pelo teor de óxidos de ferro e alumínio, caulinita, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , saturação por bases e densidade aparente (Quadro 14). Já a diferença entre os resultados do Mehlich-1 e da resina em esfera é explicada pelo teor de Al_2O_3 ($P < 0,1$) e gibbsita ($P < 0,1$) nos solos não-cultivados. O Mehlich-1 foi sensível ao teor de Al_2O_3 e gibbsita, e quanto maior o teor destes, menor o P extraído pelo Mehlich-1; a resina em esfera não foi sensível a nenhum desses índices. Nos solos com maior teor de gibbsita, a extração do Mehlich-1 diminui, enquanto a da resina em esfera não, aumentando a diferença entre o resultado dos dois métodos. FERNANDEZ R. (1995), trabalhando com parte dos solos usados neste trabalho, confirma esse resultado, mostrando que a gibbsita é o principal óxido responsável pela restrição à dessorção de P.

A correlação entre densidade aparente e a diferença entre os resultados do Mehlich-1 e da resina em esfera reflete a sensibilidade do Mehlich-1 ao FCP. Solos de maior FCP, como os argilosos, a densidade aparente é menor e, nesses solos, há maior desgaste do Mehlich-1, aumentando a diferença entre o P extraído pelo Mehlich-1 e resina.

Quadro 14 - Coeficientes de correlação linear simples entre algumas características dos solos não adubados e não cultivados (Quadros 1 e 2) e a diferença entre os teores de P extraído pela resina em esfera e pelo Mehlich-1(RE-MP) e entre os teores de P extraídos pela resina em esfera e pela resina em lâmina (RE-RL)

| Características | Δ RE-MP | Δ RE-RL |
|--------------------------------|----------------|----------------|
| P-rem | -0,43 Δ | -0,24 |
| CMAP | 0,52* | 0,25 |
| Teor de argila | 0,33 | 0,26 |
| Teor de areia | -0,33 | -0,19 |
| CTCefe. | 0,07 | 0,39 Δ |
| Al ³⁺ | 0,34 | 0,53* |
| Al ₂ O ₃ | 0,46 Δ | 0,12 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,06 | -0,07 |
| V | -0,44 Δ | -0,13 |
| Dap | -0,47 Δ | -0,21 |
| Caulinita | 0,10 | -0,05 |
| Gibbisita | 0,46 Δ | -0,03 |
| Goethita | -0,01 | -0,11 |
| Ki | -0,18 | 0,27 |

*, Δ Significativo pelo teste F a 5 e 10%, respectivamente.

Desde que se iniciou a determinação do "P-disponível" com soluções químicas diluídas, inúmeras pesquisas sobre análise de solo têm sido conduzidas, originando grande número de métodos e suas variações. Gupta et al. 1992, citado por DOBERMANN et al. (1994), listaram 60 diferentes métodos usados para a extração de P, o que gera problemas ao se compararem resultados entre diferentes métodos. O grande número de métodos gera, ainda, o inconveniente de não permitir a extrapolação de resultados gerados em ambientes semelhantes, produzidos por instituições de pesquisa diferentes (RYAN e GARABET, 1994), o que economizaria recursos e proporcionaria funcionamento mais racional das instituições de pesquisa. Alguns pesquisadores buscam, por essas razões, desenvolver métodos universais de extração (WOLF, 1982; SKOGLEY, 1992; DOBERMANN et al., 1994; RAIJ, 1994), embora na

prática extratores universais não existam e provavelmente nunca existirão (MELSTED, 1967; RAIJ, 1994). Alguns trabalhos têm sido conduzidos na tentativa de se relacionarem matematicamente os resultados de diferentes métodos. SILVA (1991) ajustou equações que relacionam os resultados dos métodos Mehlich-1 e resina de troca aniônica, permitindo a comparação de resultados de análises feitas em diferentes regiões do País que usam esses métodos de determinação de "P-disponível" e também o uso de tabelas de recomendação e interpretação de dados de análises de solos feitas com diferentes metodologias, otimizando recursos já despendidos e aproveitando uma série de informações que hoje não podem ser extrapoladas de um local para outro.

O ajuste de equações entre métodos que têm modos de ação semelhantes (Quadro 15), como a resina em esfera e resina em lâmina, é sensivelmente melhor do que o conseguido entre métodos que têm forma diferente de extração do P, como entre Mehlich-1 e resina em esfera ou resina em lâmina. Ao acondicionar a resina em esfera dentro de saquinho, características do método da resina em esfera foram alteradas, como pode ser notado pelo baixo ajuste entre resina em esfera (RE) e resina em esfera em saquinho (RES).

Com a adição de um termo quadrático na equação, houve melhora significativa no ajuste obtido nas equações que envolvem o Mehlich-1, e, com relação às equações que envolvem apenas os métodos que usam resina, não houve melhora significativa na capacidade preditiva da equação (Quadro 15). Nos solos com maior teor de argila e, conseqüentemente maior FCP, a resina não tem sua capacidade extratora alterada, enquanto o Mehlich-1 sofre desgaste, perdendo capacidade extratora e extraíndo menos P, resultando na relação não-linear entre os dois métodos.

A semelhança dos modos de ação durante o processo de extração de P da resina em esfera e resina em lâmina é evidenciada pelo melhor ajuste entre os dois métodos com equação linear, quando se compara com o ajuste das outras equações, não necessitando de um termo quadrático à equação (Quadro 15).

Quadro 15 - Equações ajustadas entre fósforo extraído pelos métodos Mehlich-1 (MP), resina em esfera (RE e RES), resina em lâmina (RL), em mg dm^{-3} , e algumas características dos solos não-adubados e não-cultivados

| Y | X | Equação | R ² |
|-------------------|----------------|--|----------------|
| Resina em saquin. | resina em esf. | $RES = 0,4052 + 0,6074^{**}.RE$ | 0,55 |
| Resina em saquin. | resina em esf. | $RES = -1,8107 + 1,5427^{*}.RE - 0,0940^{(0,41)}.RE^2$ | 0,57 |
| Mehlich-1 | resina em esf. | $MP = -0,6098 + 0,4045^{**}.RE$ | 0,52 |
| Mehlich-1 | resina em esf. | $MP = 3,4878 - 1,3248^{\Delta}.RE + 0,1738^{*}.RE^2$ | 0,65 |
| Mehlich-1 | resina em esf. | $MP = -1,0777 + 0,4402^{**}.RE + 0,0144^{*}.Prem^{*}$ | 0,66 |
| Mehlich-1 | resina em esf. | $MP = 3,9294 - 1,553^{\Delta}.RE + 0,1812^{*}.RE^2 + 0,0603^{\Delta}.CTC$ | 0,75 |
| Mehlich-1 | resina em esf. | $MP = 3,5544 - 1,3645^{\Delta}.RE + 0,1702^{*}.RE^2 + 0,4226^{(0,50)}.AI$ | 0,66 |
| Mehlich-1 | resina em esf. | $MP = -1,0119 + 0,4171^{**}.RE + 0,0071^{(0,14)}.Areia$ | 0,65 |
| Mehlich-1 | resina em esf. | $MP = 2,5019 - 0,8376^{(0,50)}.RE + 0,1259^{(0,26)}.RE^2 - 0,0046^{(0,48)}.Argila$ | 0,67 |
| Mehlich-1 | resina em esf. | $MP = -0,5038 + 0,4604^{**}.RE - 0,3935^{**}.CMAP$ | 0,70 |
| Mehlich-1 | resina em lâm | $MP = 0,0258 + 0,8192^{**}.RL$ | 0,58 |
| Mehlich-1 | resina em lâm | $MP = 1,3207 - 0,8633^{(0,50)}.RL + 0,4870^{\Delta}.RL^2$ | 0,66 |
| Mehlich-1 | resina em lâm | $MP = -0,2133 + 0,8335^{**}.RL + 0,0105^{\Delta}.Prem$ | 0,65 |
| Mehlich-1 | resina em lâm | $MP = 1,494 - 1,4520^{(0,22)}.RL + 0,5268^{\Delta}.RL^2 + 0,2495^{*}.CTC$ | 0,86 |
| Mehlich-1 | resina em lâm | $MP = 1,2536 - 0,9906^{(0,50)}.RL + 0,4062^{\Delta}.RL^2 + 0,30410^{(0,38)}.AI$ | 0,73 |
| Mehlich-1 | resina em lâm | $MP = -0,1512 + 0,7926^{**}.RL + 0,0046^{(0,21)}.Areia$ | 0,63 |
| Mehlich-1 | resina em lâm | $MP = 0,2110 + 0,7996^{**}.RL - 0,0036^{(0,50)}.Argila$ | 0,61 |
| Mehlich-1 | resina em lâm | $MP = 0,2499 + 0,8709^{**}.RL - 0,3210^{*}.CMAP$ | 0,70 |
| Resina em esfera | resina em lâm | $RE = 2,2195 + 1,6252^{**}.RL$ | 0,71 |
| Resina em esfera | resina em lâm | $RE = 2,2481 + 1,5880^{(0,11)}.RL + 0,0107^{(0,50)}.RL^2$ | 0,71 |
| Resina em esfera | resina em lâm | $RE = 2,4292 + 1,6126^{**}.RL - 0,0092^{(0,19)}.Prem$ | 0,73 |
| Resina em esfera | resina em lâm | $RE = 1,8017 + 1,5669^{**}.RL + 0,3190^{*}.CTC$ | 0,75 |
| Resina em esfera | resina em lâm | $RE = 1,6330 + 1,4919^{**}.RL + 0,7990^{**}.AL$ | 0,78 |
| Resina em esfera | resina em lâm | $RE = 2,4341 + 1,6574^{**}.RL - 0,0055^{\Delta}.Areia$ | 0,74 |
| Resina em esfera | resina em lâm | $RE = 1,7637 + 1,6735^{**}.RL + 0,0089^{*}.Argila$ | 0,75 |
| Resina em esfera | resina em lâm | $RE = 2,0860 + 1,5943^{**}.RL + 0,1916^{(0,29)}.CMAP$ | 0,73 |

** , * , Δ Significativo pelo teste F a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente.

() Significância pelo teste F.

A adição de um termo estimador do FCP às equações melhorou, de forma geral, a capacidade preditiva de um método a partir de outro (Quadro 15), notadamente quando estas envolviam o Mehlich-1. Novamente, fica evidenciada a pouca sensibilidade da esfera e da resina em lâmina ao FCP, pela pequena melhora no ajuste da equação causada pela adição de um termo estimador do FCP à equação. O melhor ajuste entre resina em esfera e resina em lâmina foi obtido quando se adicionou na equação o teor de Al^{3+} , fator que melhor se correlacionou com a diferença entre os resultados da resina em esfera (RE) e resina em lâmina (RL).

4.4. Avaliação dos extratores nos solos adubados e cultivados

Nos solos LU e LV-6, de maior FCP, a capacidade das resinas (em esfera e em lâmina) de extrair P é, significativamente, maior do que a do Mehlich-1 (Quadro 9). No AQ-2, que tem menor FCP, o Mehlich-1 extraiu mais P que as resinas (Quadro 9). No conjunto dos três solos, a resina extraiu, em média, 69% mais P que o Mehlich-1. Ao se proceder à calagem antes da adição de P, deve ter havido, além do aumento do P-Al e P-Fe, aumento do teor de P-Ca no solo, como observado em outros trabalhos (VIÉGAS, 1991). O aumento do P-Ca, originalmente em quantidades muito pequenas em solos tropicais (LOPES e COX, 1977), solubilizado por extratores ácidos (THOMAS, 1967; NOVELINO et al., 1985), não pela resina, talvez explique a menor diferença entre os resultados do Mehlich-1 e os da resina encontrados nos solos cultivados (Quadro 8), em comparação à maior diferença observada nos solos não-cultivados (Quadro 4).

A resina em esfera também apresentou capacidade de extrair mais P que a resina em lâmina nos solos cultivados (Quadro 9). Considerando tanto os solos cultivados como os não-cultivados, a resina em esfera extraiu, em média, 131% mais P que a resina em lâmina (Quadro 8).

O uso de saquinho de poliéster não reduziu a extração de P pela resina em esfera (Quadro 9). Embora esse efeito não seja significativo, houve uma redução de 31% de P extraído pela resina quando em saquinho.

Esse efeito foi menor do que o observado nos solos não-cultivados, possivelmente pela menor energia de adsorção do P ao solo após a adição deste, que seria mais facilmente extraído pela resina. Em alguns casos, no LV-6, na dose 500 mg dm^{-3} , e no AQ-2, na dose 80 mg dm^{-3} , houve aumento não-explicável da extração de P com o uso do saquinho.

Equações de regressão ajustadas de P extraído em função do P adicionado ao solos cultivados são apresentadas no Quadro 16. No LV-6, de maior teor de argila (Quadro 1), houve predominância de equações de segundo grau com o termo quadrático positivo (Quadro 16). A aplicação de altas doses de P no solo diminui a energia de adsorção de P, tornando o complexo sortivo do solo mais eletronegativo (BAHIA FILHO et al., 1983a). As ligações entre os íons fosfato e a superfície adsorvente passam a ter caráter menos específico, com ligações de menor energia, mais fáceis de serem rompidas, resultando no caráter não-linear na curva de extração (GUNARY e SUTTON, 1967). Trabalhos de ajustes de curvas de adsorção em resposta a diferentes concentrações, como o conduzido por BOWDEN et al. (1980), mostram que a adsorção de ânions, para um mesmo pH, torna a superfície adsorvente mais eletronegativa, reduzindo o potencial de adsorção e tornando-a menos intensa. Assim, existiriam diferentes regiões na curva de adsorção, com diferenças de especificidade e energia das ligações entre íons fosfatos e a matriz do solo. BAHIA FILHO et al. (1983a) verificaram que a redução dos valores de "energia de adsorção", com a aplicação de doses crescentes de P, ocorria principalmente em solos argilosos.

No AQ-2 (Quadro 16), os extratores recuperaram o P aplicado no solo, em sua maioria, seguindo uma forma linear. Solos muito pouco tamponados, como o AQ-2, não desgastam os extratores e oferecem pouca resistência à dessorção do P aplicado. O comportamento do solo LU, intermediário entre o AQ-2 e LV-6, pode estar relacionado ao seu elevado teor de matéria orgânica. BAHIA FILHO (1982) sugere que extratores ácidos atuando sobre solos com alto teor de matéria orgânica poderiam sofrer menor exaustão.

Quadro 16 - Equações de regressão ajustadas do teor de fósforo recuperado pelos extratores (Prec), em mg dm⁻³, em função das doses de fósforo adicionadas (Pad), em mg dm⁻³

| Extrator | Equação | R ² |
|---------------------------|--|----------------|
| LU | | |
| Mehlich-1 | Prec = 2,363 + 0,0926**Pad | 0,99 |
| Mehlich-1 moído | Prec = 3,804 + 0,0239 ^(0,45) Pad + 0,000264**Pad ² | 0,98 |
| Resina em esfera | Prec = 0,961 + 0,2071**Pad | 0,99 |
| Resina em saquinho | Prec = 1,133 + 0,1603**Pad + 0,0001415 Δ Pad ² | 0,99 |
| Resina em saquinho moído | Prec = 4,998 + 0,0510 Δ Pad + 0,0003949** Pad ² | 0,98 |
| Resina em lâmina | Prec = 2,363 + 0,0926**Pad | 0,99 |
| Resina em lâmina com bola | Prec = -1,155 + 0,0832**Pad | 0,98 |
| Resina em lâmina moída | Prec = 1,158 + 0,0127 ^(0,50) Pad + 0,000195* Pad ² | 0,99 |
| LV-6 | | |
| Mehlich-1 | Prec = 0,456 + 0,12584**Pad | 0,99 |
| Mehlich-1 moído | Prec = 3,529 + 0,07373**Pad + 0,0002119**Pad ² | 0,99 |
| Resina em esfera | Prec = 0,251 + 0,30967**Pad - 0,0001700**Pad ² | 0,99 |
| Resina em saquinho | Prec = 4,729 + 0,10277**Pad + 0,0003556*Pad ² | 0,99 |
| Resina em saquinho moído | Prec = 3,134 + 0,20110**Pad + 0,0001633**Pad ² | 0,99 |
| Resina em lâmina | Prec = 1,377 + 0,06430**Pad + 0,0000828 Δ Pad ² | 0,99 |
| Resina em lâmina com bola | Prec = -0,082 + 0,08684**Pad | 0,99 |
| Resina em lâmina moída | Prec = 1,244 + 0,04698 Δ Pad + 0,0001466**Pad ² | 0,99 |
| AQ-2 | | |
| Mehlich-1 | Prec = -0,523 + 0,24198**Pad + 0,0005646 Δ Pad ² | 0,99 |
| Mehlich-1 moído | Prec = 2,412 + 0,18657**Pad + 0,0008761**Pad ² | 0,99 |
| Resina em esfera | Prec = 1,623 + 0,20706**Pad + 0,0010707**Pad ² | 0,99 |
| Resina em saquinho | Prec = -0,192 + 0,33950**Pad | 0,99 |
| Resina em saquinho moído | Prec = 4,253 + 0,24856**Pad | 0,97 |
| Resina em lâmina | Prec = -0,586 + 0,20211**Pad | 0,98 |
| Resina em lâmina com bola | Prec = -0,620 + 0,17766**Pad | 0,99 |
| Resina em lâmina moída | Prec = 0,520 + 0,18827**Pad | 0,99 |

Δ , *, ** Significativo pelo teste F a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Quando Cabe ressaltar que no LU e LV-6, solos mais tamponados, a moagem das amostras de solo alterou a forma de extração para o Mehlich-1 (Quadro 16). Esse efeito deve-se, provavelmente, à exaustão do Mehlich-1 causada pela moagem, efeito mais intenso nos solos de maior FCP e que daria caráter curvilíneo à curva de extração.

4.5. Relação entre os métodos de extração e o comportamento da planta

Como nos solos não-cultivados, o teor de P extraído pelos diferentes métodos mostrou-se dependente dos solos ($P \leq 0,001$) na análise de variância. A capacidade do solo de suprir as plantas com P está relacionada às características específicas de cada solo, principalmente aquelas que refletem o FCP. Solos com maior FCP e com o mesmo valor de P-lábil têm menor concentração de P em solução (HOLFORD e MATTINGLY, 1976), proporcionando menor absorção de P pelas plantas. Adicionalmente, a difusão de P nesses solos é mais lenta.

Houve aumento de produção de matéria seca, do teor e do conteúdo de P na matéria seca da parte aérea das plantas de milho, em todos os solos, com o aumento da dose de P aplicada (Quadro 17). Devido à metodologia adotada, na qual as doses foram escolhidas de acordo com o teor de argila dos solos, a produção de matéria seca da parte aérea, o teor e o conteúdo de P nesta variaram muito pouco entre os solos. FONSECA et al. (1988), LEITE (1991), PAULA (1993) e FONSECA et al. (1997ab), que adotaram metodologia semelhante para a escolha das doses de P, observaram maiores produções de matéria seca nos solos mais argilosos, que receberam maiores doses de P que os solos arenosos. Normalmente, o que se observa é o menor acúmulo de P, ou a produção de matéria seca, nos solos de maior FCP, para a mesma dose de P aplicada (FREIRE et al., 1979; BAHIA FILHO, 1982; CRAVO et al., 1985; FABRES et al., 1987; MUNIZ et al., 1987; LINS e COX 1989; MOURA FILHO, 1990; SILVA, 1991; PASSOS, 1994; SILVA e RAIJ, 1996).

Quadro 17 - Produção de matéria seca (MS), teor e quantidade de P acumulado na parte aérea das plantas de milho em cada dose de P em cada solo

| Solo | Dose de P | Produção de MS | Teor de P na MS | P acumulado |
|------|---------------------|----------------|--------------------|-------------|
| | mg dm ⁻³ | g/vaso | g kg ⁻¹ | mg/vaso |
| LU | 0 | 2,19 | 0,74 | 1,63 |
| LU | 40 | 2,61 | 0,93 | 2,42 |
| LU | 80 | 3,62 | 1,06 | 3,83 |
| LU | 120 | 5,27 | 1,23 | 6,46 |
| LU | 240 | 6,51 | 1,40 | 9,14 |
| LU | 400 | 7,02 | 1,86 | 13,09 |
| LV-6 | 0 | 1,83 | 0,83 | 1,53 |
| LV-6 | 50 | 2,72 | 0,92 | 2,50 |
| LV-6 | 100 | 3,85 | 1,14 | 4,37 |
| LV-6 | 200 | 5,39 | 1,34 | 7,20 |
| LV-6 | 300 | 6,57 | 1,64 | 10,75 |
| LV-6 | 500 | 7,74 | 2,50 | 19,36 |
| AQ-2 | 0 | 1,75 | 0,84 | 1,47 |
| AQ-2 | 20 | 2,32 | 0,98 | 2,27 |
| AQ-2 | 40 | 3,21 | 1,03 | 3,30 |
| AQ-2 | 80 | 5,32 | 1,16 | 6,19 |
| AQ-2 | 120 | 5,89 | 1,50 | 8,83 |
| AQ-2 | 200 | 7,78 | 2,40 | 18,70 |

$$AQ-2 \quad MS = 1,746 + 0,05406 \cdot P_{ad} - 0,00012354 \cdot P_{ad}^2 \quad 0,99$$

Teor de P na MS

$$LU \quad P_{MS} = 0,21273 + 0,00020307 \cdot P_{ad} \quad 0,99$$

$$LV-6 \quad P_{MS} = 0,075465 + 0,00032547 \cdot P_{ad} \quad 0,99$$

$$AQ-2 \quad P_{MS} = 0,074013 + 0,00075420 \cdot P_{ad} \quad 0,94$$

P acumulado na MS

$$LU \quad P_{ac} = 2,15514 + 0,00205074 \cdot P_{ad} \quad 0,99$$

$$LV-6 \quad P_{ac} = 0,07743 + 0,003572 \cdot P_{ad} \quad 0,98$$

$$AQ-2 \quad P_{ac} = 0,02504 + 0,008525 \cdot P_{ad} \quad 0,97$$

A, **, Significativa pelo teste F = 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

(*) Significância pelo teste F.

Todas as equações ajustadas entre produção de matéria seca da parte aérea como função das doses de P adicionadas foram quadráticas e altamente significativas (Quadro 18). Embora as equações ajustadas sejam quadráticas, não se alcançou um "platô" de produção de matéria seca em função das doses de P, ficando o ponto de máximo da equação além do espaço exploratório.

O teor e o conteúdo de P na matéria seca da parte aérea das plantas aumentaram linearmente com o aumento das doses de P aplicadas para todos os solos (Quadro 18).

O aumento linear de P absorvido, enquanto a produção de matéria seca teve tendência curvilínea, deve-se, provavelmente, à absorção de P além das necessidades metabólicas das plantas, como observado na literatura (FABRES et al., 1987).

Quadro 18 - Equações de regressão ajustadas da produção de matéria seca da parte aérea (MS) das plantas de milho, em g/vaso, do teor de fósforo (PMS), em dag kg⁻¹, e fósforo acumulado na matéria seca (Pac), em cg/vaso, como função do fósforo adicionado (Pad), em mg dm⁻³

| Solo | Equação | R ² |
|--------------------------|---|----------------|
| Produção de MS | | |
| LU | MS = 1,6711 + 0,02759** .Pad - 0,00003299** .Pad ² | 0,99 |
| LV-6 | MS = 1,8142 + 0,01886** .Pad - 0,00001491** .Pad ² | 0,99 |
| AQ-2 | MS = 1,7740 + 0,05406** .Pad - 0,00012354** .Pad ² | 0,99 |
| Teor de P na MS | | |
| LU | PMS = 0,07963 + 0,0002659** .Pad | 0,99 |
| LV-6 | PMS = 0,076488 + 0,0003284* .Pad | 0,98 |
| AQ-2 | PMS = 0,074013 + 0,00075428 ^Δ .Pad | 0,94 |
| P acumulado na MS | | |
| LU | Pac = 0,15584 + 0,002959 ^(0,12) .Pad | 0,99 |
| LV-6 | Pac = 0,07743 + 0,003572* .Pad | 0,99 |
| AQ-2 | Pac = 0,02564 + 0,008525* .Pad | 0,97 |

Δ, *, ** Significativo pelo teste F a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

() Significância pelo teste F.

Questão O P extraído por todos os métodos de extração correlacionou, significativamente, com a produção de matéria seca, o teor e o conteúdo de P na parte aérea das plantas (Quadro 19). Por essa análise, todos os métodos foram eficientes em explicar a resposta da planta, podendo ser usados como extratores do "P-disponível". Todavia, os métodos cujas amostras de solo receberam moagem (MM, RESM e RLM), embora expliquem significativamente a resposta vegetal, têm capacidade preditiva menor do que os métodos que não incluíram moagem. Esse efeito é especialmente marcante para a resina em esfera acondicionada em saquinho (RESM), sugerindo que a moagem aumentou a extração de formas não-lábeis de P.

Diversos trabalhos consideraram a resina e o Mehlich-1 semelhantes na capacidade de avaliar o "P-disponível" às plantas (FULLIN e BRAGA, 1990; MOURA FILHO, 1990; SILVA e RAIJ, 1996; ACCIOLY et al., 1995; ALVES et al., 1995; BRASIL e MURAOKA, 1995; FREITAS et al., 1995).

O Mehlich-1, que demonstrou eficiência em extrair o "P-disponível" semelhante à resina em esfera, tem a vantagem sobre esta por ser um método de maior praticidade para laboratórios de rotina. Embora a metodologia da resina aniônica já tenha sido muito melhorada, há gasto bem maior de tempo e mão-de-obra, o que consiste em desvantagem para laboratórios de rotina.

A adição de doses crescentes de P no solo imprime forte efeito sobre a produção das plantas, que também aumenta de forma crescente, explicando, assim, a capacidade preditiva dos métodos maior do que as usualmente encontradas na literatura. Esse efeito compensa a não-inclusão de uma medida do FCP na interpretação dos resultados do Mehlich-1 (OLIVEIRA 1986, FULLIN e BRAGA, 1990; SILVA, 1991; CAJUSTE et al., 1994). Trabalhos como o de MOURA FILHO (1990), que usou metodologia semelhante a esta empregada para os solos adubados e cultivados, chegaram a resultados semelhantes, nos quais todos os métodos se correlacionaram estreitamente.

Quadro 19 - Coeficientes de correlação linear simples entre os valores médios de P extraído pelos métodos Mehlich-1 (MP), Mehlich-1 com solo moído (MM), resina em esfera (RE), resina em esfera em saquinho (RES), resina em esfera em saquinho com solo moído (RESM), resina em lâmina (RL), resina em lâmina com solo moído com bola de gude (RLB), resina em lâmina com solo moído (RLM) e produção de matéria seca (MS), teor de P na MS e P acumulado na parte aérea das plantas

| Métodos | Produção de MS | P na MS | P acumulado |
|----------------|----------------|---------|-------------|
| MP | 0,93*** | 0,98*** | 0,98*** |
| MM | 0,88*** | 0,99*** | 0,98*** |
| RE | 0,93*** | 0,95*** | 0,96*** |
| RES | 0,87*** | 0,93*** | 0,93*** |
| RESM | 0,82*** | 0,88*** | 0,88*** |
| RL | 0,91*** | 0,98*** | 0,98*** |
| RLB | 0,93*** | 0,98*** | 0,99*** |
| RLM | 0,87*** | 0,97*** | 0,96*** |
| Produção de MS | - | 0,93*** | 0,91*** |

*** Significativo pelo teste F a 0,1%.

Um método promissor para análises em laboratórios de rotina é a resina em lâmina, que tem vantagem sobre a resina na forma de esferas por sua maior praticidade. Na forma de lâmina, a resina foi usada com êxito para medir o nitrato (WANDER et al., 1995), sulfato (SEARLE, 1988) e fosfato (PARFITT et al., 1994) no solo, *in situ*. Para análise de P, COOPERBAND e LOGAN (1994) testaram a resina em lâmina, considerando-a eficiente na avaliação do P em soluções puras de laboratório e do P-lábil dos solos. MIOLA et al. (1995) testaram o Mehlich-1, a resina em esfera e em lâmina em solos do Rio Grande do Sul, tendo tido a resina em lâmina resultados semelhantes aos da resina em esfera e do Mehlich-1, quanto à resposta de plantas. O modo de ação da resina em lâmina é o mesmo da resina em esfera, o que permite sua indicação para solos com alto teor de P-Ca.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do extrator Mehlich-1, resina em esfera e em lâmina como indicadores do "P-disponível" às plantas, bem como obter informações sobre esses métodos e sua relação com algumas características do solo. Também objetivou-se conhecer o efeito que diferentes graus de moagem das amostras de solo têm sobre a eficiência destes e o efeito do acondicionamento da resina em esfera em saquinho de poliéster sobre sua capacidade extratora. Para isso, foram conduzidos dois experimentos. Um experimento constituiu-se da coleta de amostras de catorze solos ainda não-cultivados, coletadas à profundidade de 0 a 20 cm, com grande variação quanto às suas características físicas e químicas. As amostras tiveram o "P-disponível" determinado utilizando-se os métodos de extração: Mehlich-1, com as amostras de solo passadas por peneira de 2 mm de abertura (TFSA); Mehlich-1, com as amostras de solo moídas até passarem por peneira de 0,25 mm de abertura; resina em esfera, com as amostras de solo passadas por peneira de 2 mm e, em seguida, moídas pela agitação com bola de vidro; resina em esfera acondicionada em saquinho de tela de poliéster, com as amostras de solo passadas por peneira de 2 mm; resina em esfera acondicionada em saquinho, com as amostras de solo moídas

até passarem por peneira de 0,25 mm; resina em lâmina, com as amostras de solos passadas por peneira de 2 mm; resina em lâmina, com as amostras de solo passadas por peneira de 2 mm e moídas pela agitação com bola de vidro; e resina em lâmina, com as amostras de solo moídas até passarem por peneira de 0,25 mm. No segundo experimento, aplicaram-se doses crescentes de P, definidas de acordo com o teor de argila, em amostras superficiais de 3 solos e, após incubação, cultivou-se milho em casa de vegetação por 35 dias. Determinaram-se a produção de matéria seca, o teor e o P acumulado pela matéria seca da parte aérea das plantas. Foram retiradas amostras do solo dos vasos, determinando-se o "P-disponível" pelos métodos utilizados nos solos não-cultivados.

Os resultados mostraram que, para solos não-cultivados, a moagem das amostras de solo não aumentou significativamente a extração de P pelo Mehlich-1. Nos solos cultivados, a moagem aumentou a extração de P pelo Mehlich-1 apenas para um solo. Com a resina em lâmina, a moagem das amostras também não alterou na determinação do "P-disponível", tanto em solos cultivados como nos não cultivados. Já com a resina em esfera, a moagem das amostras aumentou a extração de P apenas nos solos não-cultivados, sendo esse efeito não significativo nos solos cultivados.

O uso de saquinho para acondicionar a resina em esfera reduziu a extração de P e alterou as características do método da resina nos solos não-cultivados, não sendo esse efeito significativo nos solos cultivados.

A resina em lâmina teve comportamento similar ao da resina em esfera, sendo também pouco sensível ao fator capacidade de P dos solos, apesar de extrair quantidades menores de P dos solos.

Todos os métodos utilizados explicaram bem a resposta vegetal. Os métodos cujas amostras de solo receberam moagem, principalmente a resina em esfera, apesar de se relacionarem bem com a resposta vegetal, foram inferiores aos que não tiveram moagem das amostras.

A resina em lâmina mostrou-se um método satisfatório na determinação do "P-disponível", não tendo o inconveniente da resina em esfera de ser trabalhoso e demorado, o que o torna promissor para laboratórios de rotina.

ANDRADE, P.R.G., NEVES, C.G., ALVES, R.J.T., MAGALHÃES, A.F. Uso da resina trocadora de ânions na avaliação do fósforo "disponível" para as plantas. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa, MG. Resumos Expandidos..., SBCS, 1995. p. 981-983.

ARAÚJO, C.A.S. Movimento de fósforo e de macronutrientes catiônicos em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro. Viçosa, MG: UFV, 1997. 124 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

BAHIA FILHO, A.F.C. Índices de disponibilização de fósforo em latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e minerais. Viçosa, MG: UFV, 1982. 142 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1982.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAHIA FILHO, A.F.C., BRAGA, J.M. Fósforo em latossolos de estado de Minas Gerais: II. Quantidade de fósforo das classes e fósforo "disponível". *Rev. Ciênc.*, v. 22, p. 00-01, 1975.

ACCIOLY, A.M., FERNANDES, L.A., GUEDES, A.A., FURTINI NETO, A.E., ANDRADE, C.A.B. Avaliação do fósforo disponível em solos de várzea pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e resina. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa, MG. **Resumos Expandidos....** SBCS, 1995. p. 986-988.

ALVAREZ V., V.H. **Efecto de los factores cantidad, intensidad y capacidad amortiguadora de fosfatos en la evaluación del fósforo disponible de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca.** Edo. Michoacan, Chapingo: Colegio de Posgraduados, 1982. 300p. Dissertação (Doutorado) – Colegio de Posgraduados, 1982.

ALVAREZ V., V.H. **Caracterização química de solos.** Viçosa - MG. Universidade Federal de Viçosa, 1985. 77p.

ALVES, R.J.T., ANDRADE, P.R.G., CASTRO, M.F.A., LIMA JÚNIOR., M.A. Avaliação do fósforo "disponível" para as plantas por três extratores em seis solos de Pernambuco. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa, MG. **Resumos expandidos....** SBCS, 1995. p.983-985.

AMER, F., BOULDIN, D.R., BLACK, C.A., DUKE, F.R. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption and P^{32} equilibration. **Plant Soil**, v.6, p.391-408, 1955.

- ANDRADE, P.R.G., NEVES, C.S., ALVES, R.J.T., MAGALHÃES, A.F. Uso da resina trocadora de ânions na avaliação do fósforo "disponível" para as plantas. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa, MG. **Resumos Expandidos...**, SBCS, 1995. p. 961-963.
- ARAÚJO, C.A.S. **Movimento de fósforo e de macronutrientes catiônicos em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro.** Viçosa, MG: UFV, 1997. 124 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- BAHIA FILHO, A. F. C. **Índices de disponibilidade de fósforo em latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas.** Viçosa, MG: UFV, 1982. 148 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1982.
- BAHIA FILHO, A.F.C., BRAGA, J.M. Fósforo em latossolo do estado de Minas Gerais: II. Quantidade de fósforo disponível e fósforo "disponível". **Rev. Ceres**, v.22, p.50-61, 1975.
- BAHIA FILHO, A.F.C., BRAGA, J.M., RESENDE, M., RIBEIRO, A.C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. **R. Bras. Ci. Solo**, v.7, p.221-226, 1983a.
- BAHIA FILHO, A.F.C., BRAGA, J.M., RIBEIRO, A.C., NOVAIS, R.F. Sensibilidade de extratores químicos à capacidade tampão de fósforo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.7, p.243-249, 1983b.
- BARROW, N.J. The slow reactions between soil and anions: 1. effects of time, temperature, and water content of a soil on the decrease in effectiveness of phosphate for plant growth. **Soil Sci.**, v.118, p.380-386, 1974.
- BARROW, N.J. A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil. **J. Soil Sci.**, v.34, p.733-750, 1983.
- BARROW, N.J., SHAW, T.C. The slow reactions between soil and anions: 2. effect of time and temperature on decrease in phosphate concentration in the soil solution. **Soil Sci.**, v.119, p.167-177, 1975.
- BIASI, J. **Avaliação do fósforo relacionado a diversos extratores químicos em solos de Santa Catarina.** Piracicaba, ESALQ, 1978. 180 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1978.

- BINKLEY, D., MATSON, P. Ion exchange resin bag method for assessing forest soil nitrogen availability. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.47, p.1050-1052, 1983.
- BOWDEN, I.W., NAGARAYAH, S., BARROW, N.J., POSNER, A.M., QUIRK, J.P. Describing the adsorption of phosphate, citrate and selenite on a variable-charge mineral surface. **Aust. J. Soil Res.**, v.18, p.49-60, 1980.
- BOWMAN, R.A., OLSEN, S.R., WATANABE, F.S. Greenhouse evaluation of residual phosphate by four phosphorus methods in neutral and calcareous soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.42, p.451-454, 1978.
- BRAGA, J.M., DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. **Rev. Ceres**, v.21, p.73-85, 1974.
- BRASIL, E.C., MURAOKA, T. Comparação de extratores de fósforo em solos da Amazônia Oriental de íons. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa, MG. **Resumos expandidos...** SBCS, 1995. p.980-982. 1995.
- BRAY, R.H. Correlation of soil tests with crop response to added fertilizers and with fertilizer requirements. In.: KITCHEN, H.B., (Ed.). **Diagnostic techniques for soils and crops**. Washington: American Potash Institute, 1947, p.53-85.
- CABALA R., P., SANTANA, M.B.M. Disponibilidade e diagnose de fósforo pela análise química do solo com referência ao Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, v.7, p.109-118, 1983.
- CAJUSTE, L.J., LAIRD, R.J., CRUZ, J.D., CAJUSTE JUNIOR., L. Phosphate availability in tropical soils as related to phosphorus fractions and chemical tests. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.25, p.1881-1889, 1994.
- CAMPELLO, M.R., NOVAIS, R.F., FERNANDEZ R., FONTES, M.P.F., BARROS, N.F. Avaliação da reversibilidade de fósforo não lábil para lábil em solos com diferentes características. **R. Bras. Ci. Solo**, v.18, p.157-165, 1994.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BULL, L.T. & CANTARELLA, H. **Cultura do milho**. Fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993, p.147-185.

- CHANG, S.C., JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Sci.**, v.84, p.133-144, 1957.
- CHAVES, L.F.C. **Absorção de fósforo por mudas de Jacarandá-da-Bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. Allem.) e Vinhático (*Plathyenia foliolosa* Benth.) na presença de *Gigaspora margarita* Gerd. e Taxt.** Viçosa, MG, UFV, 1996. 86 p, Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 4ª aproximação.** Lavras, MG, 1989. 176p.
- COOKE, E.J., HISLOP, J. Use of anion-exchange resin for the assessment of available soil phosphate, **Soil Sci.**, v.96, p.308-312, 1963.
- COOPERBAND, L.R., LOGAN, T.J. Measuring in situ changes in labile soil phosphorus with anion-exchange membranes. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.58, p.105-114, 1994.
- CRAVO, M.S., BRAGA, J.M., AMARAL, F.A.L., ALVAREZ V., V.H. Efeitos da interação fósforo x enxofre sobre a produção de matéria seca e sobre os níveis críticos de P e S no solo e em plantas de soja (*Glycine max* L.), em solos com e sem calagem. **Rev. Ceres**, v.179, p.12-30, 1985.
- DALAL, R.C., HALLSWORTH, E.G. Evaluation of the parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and phosphorus uptake. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.40, p.541-546, 1976.
- DEAN, L.A. Fixation of soil phosphorus. **Adv. Agron.**, v.1, p.391-411, 1949.
- DE FILLIPO, B.V., RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo.** 2. ed. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 1997. 19p.
- DOBERMANN, A., LANGNER, H., MUTSCHER, H., YANG, J.E., SKOGLEY, E.O., ADIVIENTO, M.A., PAMPOLINO, M.F. Nutrient adsorption kinetics of ion exchange resin capsules: a study with soils of international origin. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.25, p.1329-1353, 1994.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNP), 1979. 113p.

ENWEZOR, W.O. Soil testing for phosphorus in some nigerian soils: I. comparison of methods of determining available phosphorus in soils of Southeastern Nigeria. **Soil Sci.**, v.123, p.48-53, 1977.

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**, v.11, p.51-57, 1987.

FERNANDEZ R., I.E.J. **Reversibilidade de fósforo não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos à redução microbiológica ou química**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 94 p. (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.

FERNANDEZ R., I.E.J., NOVAIS, R.F., MELLO, J.W.V., COSTA, L.M., ALVAREZ V., V.H., BARROS, N.F. Fósforo pela resina trocadora aniônica como medida do P-lábil de solos. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa, MG. **Resumos expandidos**: Viçosa, MG: SBCS, 1995, p.964-965.

FIXEN, P.E., GROVE, J.H. Testing soils for phosphorus. in: WESTERMAN, T.L. (3^oed) **Soil testing and plant analysis**. 3. ed. Madison: SSSA, 1990. p.141-180.

FONSECA, D.M., ALVAREZ V., V.H., NEVES, J.C.L., GOMIDE, J.A., NOVAIS, R.F., BARROS, N.F. Níveis críticos de fósforo em amostras de solos para o estabelecimento de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa*. **R. Bras. Ci. Solo**, v.12, p.49-58, 1988.

FONSECA, D.M., GOMIDE, J.A., ALVAREZ V., V.H., NOVAIS, R.F. Fatores que influenciam os níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras: II. Em campo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.21, p.35-40, 1997a.

FONSECA, D.M., GOMIDE, J.A., ALVAREZ V., V.H., NOVAIS, R.F. Fatores que influenciam os níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras: I. Em casa de vegetação. **R. Bras. Ci. Solo**, v.21, p.27-34, 1997b.

- FREIRE, F.M., NOVAIS, R.F., BRAGA, J.M., FRANÇA, G.E., SANTOS, H.L., SANTOS, P.R.R.S. Adubação fosfatada para a cultura de soja (*Glycine max* (L) Merrill) baseada no fósforo disponível e no "fator capacidade". **R. Bras. Ci. Solo**, v.3, p.105-111, 1979.
- FREITAS, A.D.S., SABINO, S.T.B.O., LIMA JÚNIOR., M.A. Seleção de extratores de fósforo em dois solos da Zona da Mata de Pernambuco. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, MG. **Resumos expandidos...** Viçosa, MG: SBCS, 1995, p. 978-979.
- FULLIN, E.A. **Avaliação do fósforo disponível do solo pelo método da resina trocadora de ânions**. Viçosa, MG: UFV, 1986. 76 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1986.
- FULLIN, E.A.; BRAGA, J.M. Avaliação do fósforo disponível no solo pelo método da resina trocadora de ânions. I. Trabalho de laboratório. **Rev. Ceres**, v.37, p.386-397, 1990.
- GONÇALVES, J.L.M. **Cinética de transformação de fósforo-lábil em não-lábil em amostras de solos de cerrado**. Viçosa, MG: UFV, 1988. 62 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1988.
- GONÇALVES, J.L.M., NOVAIS, R.F., BARROS, N.F., NEVES, J.C.L., RIBEIRO, A.C. Cinética de transformação de fósforo-lábil em não-lábil, em solos de cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v.13, p.13-24, 1989.
- GUNARY, D. SUTTON, C.D. Soil factors affecting plant uptake of phosphate. **J. Soil Sci.**, v.18, p.167-173, 1967.
- HE, Z.L., YANG, X., YUAN, K.N., ZHU, Z.X. Desorption and plant-availability of phosphate sorbed by some important minerals. **Plant Soil**, v.162, p.89-97, 1994.
- HISLOP, J., COOKE, E.J. Anion exchange resin as a means of assessing soil phosphate status: a laboratory technique. **Soil Sci.**, v.105, p.8-11, 1968.
- HOLFORD, I.C.R., MATTINGLY, G.E.G. Phosphate adsorption and plant availability of phosphate. **Plant Soil**, v.44, p.377-389, 1976.
- HOUBA, V.J.G., CHARDON, W.J., POESE, K. Influence of grinding of soil on soil apparent chemical composition. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.24, p.1591-1602, 1993.

- KABEDA, O., BOYLE, J.R. Evaluation of phosphorus in forest soils: comparison of phosphorus uptake, extraction method and soil properties. **Plant Soil**, v.49, p.285-297, 1978.
- 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. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980, p.433-469.
- KUO, S. Phosphate sorption implications on phosphate soil tests and uptake by corn. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.54, p.131-135, 1990.
- LARSEN, S. Soil phosphorus. **Advan. Agron.**, v.19, p.151-210, 1967.
- LEITE, P.B. **Níveis críticos de fósforo para milho e eucalipto, em função da sua localização no solo, em vasos**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 100p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Wiley & Sons, 1979. 423p.
- 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.**, v.53, p.813-816. 1989.
- LOPES, A.S., COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under "Cerrado" vegetation in Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.41, p.742-747, 1977.
- MARSCHENER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic, 1995. 889p.
- MEHLICH, A. New extractant for soil test of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.9, p.477-492, 1978.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.15, p.1409-1416, 1984.
- MELSTED, S.W. The philosophy of soil testing. In: HARDY, G.W., HALVORSON, A.R., JONES, J.B., MUNSON, R.D., ROUSE, R.D., SCOTT, T.W., WOLF, B. (Eds.). **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Sci. Soc. of America, 1967. Pt.1, p.13-36.

MIOLA, G.R., TEDESCO, M.J., BISSANI, C.A., GIANELLO, C. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para as plantas através de membrana trocadora de íons. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa, MG. **Resumos expandidos...** Viçosa, MG: SBCS, 1995. p.975-977.

MORAIS, E.R.C., OLIVEIRA, M. Recuperação de fósforo aplicado ao solo pelos extratores Mehlich-1, Bray-1, Bray-2 e Olsen em solo álico do município de Serra do Mel, RN. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa, MG. **Resumos expandidos...** Viçosa, MG: SBCS, 1995. p.991-993.

MOURA FILHO, G. **Disponibilidade de fósforo em amostras de solos de várzeas.** Viçosa, MG: UFV, 1990. 75p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1990.

MUNIZ, A.S, NOVAIS, R.F., BARROS, N.F., NEVES, J.C.L. Nível crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.9, p.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. **Rev. Ceres**, v.34, p.125-151, 1987.

NEVES, J.C.L. **Aspectos nutricionais em mudas de *Eucalyptus spp* - tolerância ao alumínio e níveis críticos de fósforo no solo.** Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 1983. 79p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1983.

NOVAIS, R.F., KAMPRATH, E.J. Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.42, p.934-935, 1978.

NOVAIS, R.F., KAMPRATH, E.J. Fósforo recuperado em três extratores químicos como função do fósforo aplicado no solo e do "fator capacidade". **R. Bras. Ci. Solo**, v.3, p.41-46, 1979a.

NOVAIS, R.F., KAMPRATH, E.J. Parâmetros da isoterma de adsorção de fósforo como critério para recomendação de adubação fosfatada. **R. Bras. Ci. Solo**, v.3, p.37-41, 1979b.

- NOVAIS, R.F., NEVES, J.C.L., MUNIZ, A.S., BARROS, N.F. Interação entre fósforo pela resina e o fator capacidade deste nutriente no solo. In.: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, 18, 1988, Guarapari, ES. **Resumos...** Guarapari, ES: Editora, 1988. p.109-110.
- 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**, v.9, p.13-22, 1985.
- OLIVEIRA, H.F. **Eficiência da resina trocadora de íons e de extratores químicos para fósforo, comparadas através da resposta biológica do Painço (*Panicum miliaceum*)**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1986. 106 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1986.
- PALMA, G., FASSBENDER, H.W. Estudio del fósforo en suelos de América Central. V. Uso de resinas de intercambio para evaluar la disponibilidad de P. **Turrialba**, v.20, p.279-287, 1970.
- PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Adv. Agron.**, v.30, p.1-50, 1979.
- PARFITT, R.L., TATE, K.R., McKERCHER, R.B. Measurement of phosphorus mineralisation using an anion exchange membrane. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.25, p.3209-3219, 1994.
- PASSOS, M.A.A. **Efeito de calagem e de fósforo no crescimento inicial da algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) DC)**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 52p. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- PAULA, J.R. **Avaliação da disponibilidade de fósforo por extratores orgânicos em latossolos de Minas Gerais**. Viçosa, MG; UFV, 1994. 50p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- RAIJ, B.V. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.2, p.1-9, 1978.
- RAIJ, B. New diagnostic techniques, universal soil extractants. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.25, p.799-816, 1994.
- RAIJ, B., FEITOSA, C.T., SILVA, N.M. Comparação de quatro extratores de fósforo de solos. **Bragantia**, Campinas, v.43, p.17-29, 1984.

- RAIJ, B., QUAGGIO, J.A., SILVA, N.M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium, and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.17, p.547-566, 1986.
- RAIJ, B.V., QUAGGIO, J.A., CANTARELLA, H., FERREIRA, M.E., LOPES, A.S., BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas, Fundação Cargill, 1987. p.29-32.
- RESENDE, M., BAHIA FILHO, A.F.C., BRAGA, J.M. Mineralogia de Latossolos estimada por alocação a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. **R. Bras. Ci. Solo**, v.11, p.17-23, 1987.
- RYAN, J., GARABET, S. Soil test standardization in West Asia-North Africa region. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.25, p.1641-1653, 1994.
- SCHANABEL, R.R. Nitrate and phosphate recovery from anion exchange resins. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.26, p.531-540, 1995.
- SEARLE, P.L. The determination of phosphate-extractable sulphate in soil with an anion-exchange membrane. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.19, p.1477-1493, 1988.
- SHAHANDEL, H., HOSSNER, L.R., TURNER, F.T. Evaluation of soil phosphorus tests for flooded rice soil oxidized and reduced soil condition. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.26, p.107-121, 1995.
- SIBBESEN, E. A simple ion-exchange resin procedure for extracting plant-available elements from soil. **Plant Soil**, v.46, p.665-669, 1977.
- SIBBESEN, E. An investigation of the anion-exchange resin method for soil phosphate extraction. **Plant Soil**, v.50, p.305-321, 1978.
- SIBBESEN, E., RUBAEK, G.H. Labile, organic phosphorus in incubated soils estimated by macroporous anion-exchange resin. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.25, p.1671-1683, 1994.
- SILVA, F.C. **Avaliação da disponibilidade de fósforo por diversos extratores em solos cultivados com cana de açúcar (*Saccharum ssp*)**. Piracicaba, MG: ESALQ, 1991. 144p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1991.
- SILVA, F.C., RAIJ, B. Avaliação da disponibilidade de fósforo, por diversos extratores, em amostras de solos cultivados com cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Solo**, v.20, p.83-90, 1996.

- SILVA, J.T.A., BRAGA, J.M. Sensibilidade de extratores de fósforo e nível crítico de dez solos do Estado de Minas Gerais. **Rev. Ceres**, v.39, p.542-553, 1992.
- SILVA, J.T.A., BRAGA, J.M. Influência de características físicas e químicas sobre o fator capacidade-tampão de fósforo em Latossolos do Estado de Minas Gerais. **Rev. Ceres**, v.41, p.575-583, 1993.
- ZUNINO, H., AGUILERA, M. *Phosphorus and potassium resin exchange*
- SKOGLEY, E.O. The universal bioavailability environment/soil test unibest. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.23, p.2225-2246, 1992.
- TAKAHASHI, S. Influence of soil particle size and grinding on Bray-2 extractable phosphorus. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.27, p.2829-2835, 1996.
- THOMAS, G.W. Problems encountered in soil testing methods. In: HARDY, G.W., HALVORSON, A.R., JONES, J.B., MUNSON, R.D., ROUSE, R.D., SCOTT, T.W., WOLF, B. (Eds.). **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Sci. Soc. of America, 1967. Pt.1, p.13-36, 1967.
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- VIÉGAS, R.A. **Dinâmica de fontes de fósforo aplicadas a solos com diferentes níveis de acidez**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 62 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- WALMSLEY, D., CORNFORTH, I.S. Methods of measuring available nutrients in west indian soils. ii: phosphorus. **Plant and Soil**, v.39, p.93-101, 1973.
- WANDER, M.M., McCracken, D.V., SHUMAM, L.M., JOHNSON, J.W. Anion-exchange membranes used to assess management impacts on soil nitrate. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v.26, p.2383-2390, 1995.
- WATERHOUSE, P.L., BILLE, S.W. Comparasion of the short term phosphate uptake by plants to the decrease in resin extractable phosphate in a cropped soil. **Plant Soil**, v.50, p.67-79, 1978.
- WILKSON, R.E. Acid soil stress and plant growth. In: WILKSON, R.E. (Ed.). **Plant-environmental interactions**. Madison: Marcel Dekker, 1994. p.82-148.

- WOLF, B. An improved universal extractant solution and its use for diagnosing soil fertility. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.13, p.1005-1033, 1982.
- YOSHIDA, M. Effects of dry grinding on P retention properties of Andosols. **Soil Sci. Plant Nutr.**, v.38, p.637-645, 1992.
- ZUNINO, H., AGUILERA, M., PEIRANO, P. A modified resin exchange method for measurement of available phosphate in soils derived from volcanic ash. **Soil Sci.**, v.114, p.404-405, 1972.

APENDICE

APÊNDICE

Quadro 1A - Resumo da análise de variância do teor de fósforo nas amostras de solos não-adubados e não-cultivados

| FV | APÊNDICE | QM |
|--------------------|----------|-----------|
| Solo | 13 | 5,8317*** |
| Método de extração | 7 | 62,574*** |
| Solo x método | 61 | 0,7678* |
| Resíduo | 112 | 0,4162 |
| Total | 233 | |
| C.V. 26,31% | | |

*** Significativo pelo teste F a 9 e 5 1%. **Significativo

Quadro 7A - Resumo da análise de variância do teor de fósforo das amostras de solos adubados e cultivados

| FV | GL | QM |
|----------------------|-----|------------|
| Blaco | 2 | 142,63** |
| Solo | 2 | 6488,18** |
| Dose de Fósforo | 5 | 44985,88** |
| Método de extração | 7 | 2074,61** |
| Método x solo | 14 | 843,11** |
| Método x dose | 35 | 788,05** |
| Solo x dose | 10 | 1111,77** |
| Método x dose x solo | 70 | 188,31** |
| Resíduo | 288 | 25,78 |
| Total | 481 | |

C.V. 28,42%

APÊNDICE

Quadro 1A - Resumo da análise de variância do teor de fósforo nas amostras de solos não-adubados e não-cultivados

| FV | GL | QM |
|--------------------|-----|-----------|
| Solo | 13 | 5,9317*** |
| Método de extração | 7 | 62,874*** |
| Solo x método | 91 | 0,7678* |
| Resíduo | 112 | 0,4162 |
| Total | 223 | |
| C.V. 26,31% | | |

*, *** Significativo pelo teste F a 5 e 0,1%, respectivamente.

| | | | | |
|-----------------|----|----------|-----------|-----------|
| Dose de Fósforo | 5 | 43,884** | 19,5991** | 2437,28** |
| Solo x dose | 10 | 0,0980 | 0,0183 | 0,34 |
| Resíduo | 14 | 0,0832 | 0,0124 | 1,27 |
| Total | 31 | | | |
| C.V. (%) | | | | |

Quadro 2A - Resumo da análise de variância do teor de fósforo das amostras de solos adubados e cultivados

| FV | GL | QM |
|----------------------|-----|------------|
| Bloco | 2 | 142,65** |
| Solo | 2 | 6469,18** |
| Dose de Fósforo | 5 | 44965,98** |
| Método de extração | 7 | 5064,64** |
| Método x solo | 14 | 543,11** |
| Método x dose | 35 | 796,05** |
| Solo x dose | 10 | 1111,77** |
| Método x dose x solo | 70 | 166,31** |
| Resíduo | 286 | 25,78 |
| Total | 431 | |
| C.V.: 20,42% | | |

Δ, *, **, *** Significativo pelo teste F a 10, 5, 1 e 0,1%, respectivamente.

Quadro 3A - Resumo da análise de variância de produção de matéria seca (MS), teor (PMS) e conteúdo de fósforo na matéria seca (Pac)

| FV | GL | QM MS | QM PMS | QM Pac |
|-----------------|----|-----------|------------|------------|
| Bloco | 2 | 0,4181* | 1,3199** | 83,60*** |
| Solo | 2 | 0,1360 | 0,0317 | 0,08 |
| Dose de Fósforo | 5 | 43,8641** | 19,9551*** | 2427,28*** |
| Solo x dose | 10 | 0,0360 | 0,0183 | 0,34 |
| Resíduo | 34 | 0,0892 | 0,0124 | 1,27 |
| Total | 53 | | | |
| C.V. (%) | | 6,59 | 8,53 | 16,42 |

Δ, *, **, *** Significativo pelo teste F a 10, 5, 1 e 0,1%, respectivamente.