EFICIÊNCIA DA RESINA TROCADORA DE ÍONS E DE
EXTRATORES QUÍMICOS PARA FÓSFORO, COMPARADOS
ATRAVÉS DA RESPOSTA BIOLÓGICA DO
PAINÇO (*Panicum miliaceum*)

HELENA DE FREITAS OLIVEIRA

Orientador: Prof. Dr. RONALDO IVAN SILVEIRA

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Julho - 1986

Ao meu pai e tio,
"IN MEMORIAM".

À minha mãe, irmãos, e demais
membros da família,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e a Estação Experimento de Campos da PESAGRO - Rio, pela oportunidade de realização e financiamento do curso de pós-graduação.

Ao Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira, pela orientação na realização do presente trabalho, pela sua dedicação em transmitir o conhecimento, pela amizade e pelo apoio proporcionados.

Aos professores do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, pela assiduidade e empenho no cumprimento da missão de ensinar.

Aos Srs. Francisco de Assis Portela e Dorival Grisotto, pelo valioso auxílio nos trabalhos experimentais.

Ao pessoal do Laboratório do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, nas pessoas de Vanda Maria Zanchetta e Mário Ludovico e aos demais funcionários deste Departamento e também ao Departamento de Química da ESALQ, pela colaboração nas análises de laboratório.

À Sr.^a Tekla Eunice Klar, pelo serviço de datilografia.

Aos amigos e amigas, companheiros de trabalho e de estudo, pela amizade, pelo apoio e pelo incentivo de todas as horas.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

A autora agradece penhoradamente.

Í N D I C E

	Página
RESUMO	xiv
SUMMARY	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Aspectos do comportamento e da dinâmica do P no sistema solo/planta/fertilizante.....	5
2.1.2. Influência da textura	9
2.1.3. Influência biológica	10
2.1.4. Solubilidade dos fertilizantes	10
2.2. Técnicas de diagnose do P no solo.....	12
2.2.1. Aspectos históricos	12
2.2.2. Análise de terra no diagnóstico de P no solo	12
2.2.3. Análise de planta no diagnóstico de P no solo	13
2.2.4. Classificação de extratores e mecanismos de remoção de P do solo.....	14
2.3. Evolução dos métodos de extração de P.....	16
2.4. O papel dos extratores de P	18
2.4.1. Métodos principais de determinação de P do solo.....	19
2.4.2. Extratores de P no Brasil.....	20
2.5. Comparação e seleção dos métodos de extração de P	21

2.6. Correlação dos resultados analíticos com a res- posta biológica de algumas culturas.....	23
2.7. Uso de resina trocadora de íons	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1. Procedimento experimental	27
3.1.1. Solos: coleta e preparação de amostras..	27
3.1.2. Pesquisa em casa de vegetação.....	29
3.1.3. Pesquisa em laboratório.....	32
3.1.4. Análise estatística e correlação/regressão	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1. Ação dos extratores após o período de incubação	37
4.1.1. Extração na ausência de adubação fosfata da	37
4.1.2. Extração em presença de fontes fosfatadas	39
4.1.3. Interação dos extratores com as fontes fosfatadas	39
4.1.4. Comparação da eficiência dos extratores, após o período de incubação com fosfatos	41
4.1.5. Curvas de extração de P após o perío- do de incubação	42
4.2. Ação dos extratores após a colheita de <u>Panicum</u> <u>miliaceum</u> (painço).....	46
4.2.1. Variação da ação dos extratores na au- sência da adubação fosfatada após a co- leita do painço	48

4.2.2. Variação da ação dos extratores em presença da adubação fosfatada após a colheita..	49
4.2.3. Curvas de extração de P após a colheita	54
4.2.4. Comparação da capacidade de recuperação do P através dos extratores após a colheita..	58
4.2.5. Interpretação das variações na extração de P	59
4.3. Resposta biológica de <u>Panicum miliaceum</u> (painço) às doses e fontes de P adicionado a dois latossolos de Piracicaba, São Paulo.....	66
4.3.1. Absorção de P na parte aérea do painço.	66
4.3.2. Acumulação de P na parte aérea do painço	68
4.3.3. Produção de matéria seca	71
4.4. Correlação entre os teores de P extraído, e os parâmetros de avaliação de <u>Panicum miliaceum</u> (painço) colhido aos 40 dias após a emergência das plantas	74
4.5. Regressões lineares baseadas na reunião das fontes fosfatadas	79
5. CONCLUSÕES	83
6. LITERATURA CITADA	87
APÊNDICE	103

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Extração de P por três extratores em amostras de dois latossolos, após 15 dias da incubação com fosfato monoamônico (MAP), em Piracicaba, São Paulo.....	43
Figura 2 - Extração de P por três extratores em amostras de dois latossolos, após 15 dias de incubação com superfosfato triplo (ST), em Piracicaba, São Paulo.....	44
Figura 3 - Extração de P por três extratores em amostras de dois latossolos após 15 dias da incubação com fosfato natural (FN), em Piracicaba, São Paulo	45
Figura 4 - Extração de P após a colheita de <u>Panicum miliaceum</u> (painço) em dois latossolos adubados com fosfato monoamônico (MAP), em Piracicaba, São Paulo.....	55
Figura 5 - Extração de P após a colheita de <u>Panicum miliaceum</u> (painço) em dois latossolos adubados com superfosfato triplo (ST), em Piracicaba, São Paulo	56

- Figura 6 - Extração de P após a colheita de Panicum miliaceum (painço) em dois latossolos adubados com fosfato natural (FN), em Piracicaba, São Paulo. 57
- Figura 7 - Absorção de P por Panicum miliaceum (painço) colhido aos 40 dias após a emergência, em dois latossolos de Piracicaba, São Paulo..... 69
- Figura 8 - Acumulação de P na parte aérea de Panicum miliaceum (painço) colhido aos 40 dias após a emergência, em dois latossolos de Piracicaba, São Paulo 70
- Figura 9 - Produção de matéria seca (MS) por Panicum miliaceum (painço) colhido aos 40 dias após a emergência, em dois latossolos de Piracicaba, São Paulo..... 73
- Figura 10- Efeito de 50 ppm de P sob as formas de fosfato natural (FN), fosfato monoamônico (MAP) e superfosfato triplo (ST), adicionados a dois latossolos cultivados com Panicum miliaceum (painço), em Piracicaba, São Paulo 103

- Figura 11 - Efeito de 100 ppm de P sob as formas de fosfato natural (FN), fosfato monoamônico (MAP) e superfosfato triplo (ST) adicionados a dois latossolos cultivados com Panicum miliaceum, em Piracicaba, São Paulo 104
- Figura 12 - Efeito de 150 ppm de P sob as formas de fosfato natural (FN), fosfato monoamônico (MAP) e superfosfato triplo (ST), adicionados a dois latossolos cultivados com Panicum miliaceum (painço), em Piracicaba, São Paulo..... 105
- Figura 13 - Efeito de 200 ppm de P sob as formas de fosfato natural (FN), fosfato monoamônico (MAP) e superfosfato triplo (ST), adicionados a dois latossolos cultivados com Panicum miliaceum (painço), em Piracicaba, São Paulo..... 106

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Principais atributos químicos e físicos de dois latossolos de Piracicaba, São Paulo....	28
Tabela 2 - Quantidades de fertilizantes fosfatados aplicados nas terras do experimento	30
Tabela 3 - Fósforo total e solúvel contido em três fontes de fertilizantes fosfatados.....	30
Tabela 4 - Teores de P extraídos por três extratores em amostras de dois latossolos, após 15 dias de incubação com três fontes de fosfatos, em Piracicaba, São Paulo.....	38
Tabela 5 - Variação nos teores médios de P extraído por três extratores após a colheita de <u>Panicum miliaceum</u> (painço) em relação a três fontes de fosfatos adicionados a dois latossolos de Piracicaba, São Paulo.....	47
Tabela 6 - Análise de variância dos teores de P extraído no LVA fase arenosa, série Paredão Vermelho	52

Tabela 7 - Análise de variância dos teores de P extraídos no LVE orto, série Guamium.....	53
Tabela 8 - Valores médios de fósforo absorvido, fósforo acumulado e matéria seca produzidos por <u>Panicum miliaceum</u> (painço) em função das três fontes de fosfato adicionadas a dois latossolos de Piracicaba, São Paulo.....	67
Tabela 9 - Correlação entre o P extraído por três extratores e os parâmetros de <u>Panicum miliaceum</u> (painço) cultivado em dois latossolos, com adição de fosfato monoamônico (MAP) em Piracicaba, São Paulo.....	75
Tabela 10- Correlação entre P extraído por três extratores e os parâmetros de <u>Panicum miliaceum</u> (painço) cultivado em dois latossolos, com adição de superfosfato triplo (ST), em Piracicaba, São Paulo	76
Tabela 11 - Correlação entre o P extraído por três extratores e os parâmetros de <u>Panicum miliaceum</u> (painço) cultivado em dois latossolos, com adição de fosfato natural "Alvorada" (FN), em Piracicaba, São Paulo.....	77

Tabela 12 - Regressões associando os parâmetros do painço
(y) com o P extraído pelos três extratores (x);
coeficientes de determinação (r^2) e valores de
F em dois latossolos de Piracicaba, São Paulo. 80

EFICIÊNCIA DA RESINA TROCADORA DE ÍONS E DE EXTRATORES QUÍMICOS
PARA FÓSFORO, COMPARADOS ATRAVÉS DA RESPOSTA BIOLÓGICA
DO PAINÇO (*Panicum miliaceum*)

Candidata: Helena de Freitas Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira

RESUMO

Foi conduzido um experimento em casa de vegetação utilizando painço (*Panicum miliaceum*) cultivado em Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) fase arenosa, série Paredão Vermelho (Orthic Rodochrult) e em Latossolo Vermelho Escuro (LVE) orto, série Guárium (Orthic Haplacrox) de Piracicaba, São Paulo, para comparar a eficiência dos extratores de fósforo: resina trocadora de íons, ácido sulfúrico (H_2SO_4 0,05N) e solução de Mehlich (H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,05N). Os tratamentos incluíram uma testemunha e três fontes de P: fosfato monoamônico (MAP), superfosfato triplo (ST) e fosfato natural "Alvorada" (FN), aplicados nas doses de 50, 100, 150 e 200 ppm de P. As avaliações de P através dos três extratores foram efetuadas após 15 dias da incubação dos latossolos com os fertilizantes e após a colheita do painço com um ciclo de 40 dias. Para cada fonte de fosfato foi observada uma alta correlação ($r > \pm 0,95$) entre os teores de P extraído pelos três processos e os parâmetros, P absorvido (%) e P acumulado (mg/vaso), re

lativos a parte aérea do painço. Os extratores mostraram a seguinte ordem de extração média: Mehlich > resina > H_2SO_4 para o LVA; resina > Mehlich > H_2SO_4 para o LVE. Considerando as fontes fosfatadas em conjunto, comprovou-se a diferença de comportamento entre os extratores. As correlações P extraído x P absorvido e P extraído x P acumulado foram significativas para a resina, mas, não para os extratores químicos. Os coeficientes de determinação obtidos para a resina foram altos ($r^2 = 88\%$) no LVA e médios ($r^2 = 72\%$) no LVE. A resina foi mais eficiente que os extratores químicos empregados porque correlacionou melhor com a resposta biológica do painço à adição de fosfatos, foi mais versátil para os diferentes solos, mais estável e capaz de predizer a absorção de P pelas plantas, sendo muito útil para as recomendações de fertilizantes fosfatados.

EFFICIENCY OF ION EXCHANGE RESIN AND CHEMICAL PHOSPHORUS
EXTRACTANTS EVALUATED BY BIOLOGICAL RESPONSE OF MILLET

(*Panicum miliaceum*)

Author: Helena de Freitas Oliveira

Adviser: Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira

SUMMARY

A greenhouse experiment with millet (*Panicum miliaceum*) was carried out in two latosols, LVA (Orthic Rodochrult) and LVE (Orthic Haplacrox) from Piracicaba, São Paulo, in order to compare the efficiency of three P extractants: ion exchange resin, sulphuric acid (H_2SO_4 0,05N) and Mehlich solution (H_2SO_4 0,025N + HCl 0,05N). Treatments included a control and three phosphate sources: monoammonium phosphate (MAP) triple superphosphate (ST) and "Alvorada" rock phosphate (FN), applied at the rates of 50, 100, 150 and 200 ppm P. Phosphorus was extracted by resin and chemical extractants after the incubation of soils with fertilizers (15 days) and after harvest of the millet (40 days cycle). P extractable was highly correlated ($r > \pm 0,95$) with P uptake and P accumulation (mg/pot). The extractants employed showed the following decreasing orders of average extraction: Mehlich $> H_2SO_4 >$ resin, to the LVA soil; resin $>$ Mehlich $\sim H_2SO_4$ to LVE soil. Through the phosphate sources all together, the difference in behavior of extractants was ratified. To the resin the correlations P extractable x P uptake and P

extractable x P accumulation were significant, however the same was not true to the chemical extractants. The determination coefficients were high ($r^2 = 88\%$) to the LVA soil and medium ($r^2 \geq 72\%$) to the LVE soil. The resin was the most efficient extractant used because it correlated better with the biological response of millet to phosphate; it was more versatile than the other extractants, for different soils; and it was able to predict P uptake by plants, being very useful to recommend phosphate fertilizers.

1. INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um dos macronutrientes essenciais para a vida das plantas, visto que desempenha importante papel no crescimento, desenvolvimento e produção das culturas. Por ser a deficiência de P nos solos bastante generalizada para todas as culturas, a caracterização deste elemento no solo e a quantificação de sua disponibilidade efetiva para as plantas, há muito tem preocupado os especialistas em Fertilidade do Solo.

O suprimento de fósforo do solo para a planta está relacionado com múltiplos fatores: do solo, da planta e do ambiente, de modo que a sua quantificação requer critérios confiáveis que envolvem parâmetros químicos, físicos e biológicos.

O diagnóstico químico da fertilidade do solo apoia-se em critérios fundamentais, merecendo destaque o uso

das soluções extratoras, adequadas para avaliar a fração do nutriente que a planta poderá aproveitar durante o seu ciclo vital.

Para o caso do fósforo existe grande diversidade de soluções extratoras, com ampla variação de composição e elevada complexidade, sendo em geral de natureza ácida ou alcalina. A eficiência de tais extratores depende das condições da cultura, do solo e, sobretudo, da participação relativa dos diferentes compostos fosfatados do solo, no processo de solubilização do P para que a planta o absorva.

Os teores de fósforo extraídos do solo são altamente influenciados, tanto pela natureza do solo quanto pela solução extratora; esta, por sua vez, atua em função: da relação solo:solução e do tempo de contato entre essas duas variáveis; das condições de extração (agitação, percolação, etc); da temperatura e de outros fatores.

A maioria dos métodos para análise de P baseia-se em técnicas simples de extração, adaptadas para determinações de rotina nos laboratórios. O problema dos extratores químicos é que causam alterações nas amostras de terra e podem extrair uma fração de P, que nem sempre representa a realidade do absorvido pelas plantas. Estas dificuldades assumem maior proporção ao serem comparadas as variações dos resultados decorrentes das alterações dos métodos analíticos.

Existem diversas técnicas destinadas a caracterizar e quantificar o P no solo, tais como: troca isotópica com P radioativo, potencial eletroquímico dos fosfatos, relação entre parâmetros quantidade/intensidade, produto de solubilidade, etc. Estas técnicas embora possam prever as respostas das culturas à adição de fósforo, são inviáveis como práticas de rotina por seu custo elevado e/ou utilização inconveniente.

No Brasil, generalizou-se a extração de P com a solução extratora de Mehlich (H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,05N) exceção feita ao Estado de São Paulo, onde o extrator usual era H_2SO_4 0,05N, antigo método do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas). As quantidades de P extraídas por ambos os métodos são bastante próximas e têm-se encontrado correlações satisfatórias entre valores de P extraído e absorção deste nutriente por diversas culturas, em várias regiões brasileiras. Em alguns casos, as quantidades de P extraído podem ser subestimadas, como em solos argilosos, ou, superestimadas, em solos que receberam fosfatos naturais. Portanto, o uso de extratores ácidos é reconhecidamente inadequado para a previsão em escala generalizada, da disponibilidade de P nos solos. Isto é válido especialmente para solos que receberam fosfatos naturais, porque o grau de acidez dos extratores favorece a solubilização dos fosfatos, acusando altos teores de P, ainda que seja baixo o valor de fertilização deste material e extrema a carência de P no solo.

Para contornar estes problemas, há necessidade de avaliar o extrator mais adequado, como o uso da resina trocadora de anions que oferece novas perspectivas na caracterização do P absorvido pela planta a partir do solo e, por isso, já está sendo adotada nos laboratórios do IAC e da ESALQ.

A presente pesquisa tem como objetivo comparar a eficiência da resina trocadora de íons com a dos extratores de uso convencional no Brasil, tomando como referência o P extraído pela planta indicadora Panicum miliaceum (painço), cultivada em dois latossolos de texturas diferentes, adubados com três fontes de fosfatos, sendo dois solúveis em água e um insolúvel.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para compreender a importância do papel dos extratores na busca da utilização eficiente dos fertilizantes fosfatados é indispensável o conhecimento do comportamento e da dinâmica do P no sistema solo/planta/fertilizante, previamente ao estudo das técnicas de diagnose de P.

2.1. Aspectos do comportamento e da dinâmica do P no sistema solo/planta/fertilizante

Existe um vasto acervo literário para informar sobre a problemática do P no solo, abrangendo aspectos de: formas, frações e parâmetros do elemento, influenciando suas transformações (fixação, imobilização, mineralização, dessorção, adsorção); influência dos constituintes do solo na absorção deste nutriente pelas raízes; influências da planta e dos microorganismos; solubilidade dos fertilizantes. Todos estes aspectos afetam a disponibilidade de P e sua avaliação por meio de

extratores.

2.1.1. Influência das formas e parâmetros de P no solo

As formas de P no solo podem ser esquematizadas de acordo com o modelo proposto por GUNARY e SUTTON (1967).

O suprimento de P para a planta a partir do solo segue aproximadamente este modelo, conforme: RAIJ (1978); CABALA e SANTANA (1983); GOEDERT e SOUSA (1984).

As condições desejáveis do estado do P no solo para atender as exigências das culturas implicam em condições favoráveis dos quatro parâmetros primários mencionados por GUNARY e SUTTON (1967): quantidade ou capacidade (P solo), taxa (K_1/K_2), intensidade (P solução) e difusão (RAIJ, 1978). Geralmente a quantidade (Q) descreve o tamanho do reservatório do P lábil e reflete a habilidade do solo em manter o fator intensidade (I), conforme BECKETT e WHITE (1964).

Segundo GOEDERT e LOBATO (1980), no solo quase

todo o fósforo faz parte de compostos orgânicos e inorgânicos bastante insolúveis (P sólido) estando uma parte muito pequena dissolvida na solução (P solução). As raízes das plantas absorvem fosfatos principalmente da solução do solo (RAIJ, 1978), sendo esta remoção promovida em duas reações, uma lenta e outra rápida (LARSEN, 1974), cujo equilíbrio seria representado pela seguinte equação:

Segundo RAIJ (1978), o P da fase sólida encontra-se dividido em P lábil e P não lábil, considerando-se a fração lábil como mais disponível para as plantas. O fosfato inorgânico da solução do solo está em equilíbrio com fosfatos de fase sólida, adsorvidos ou principalmente combinados em compostos de cálcio, alumínio e ferro. O P contido na matéria orgânica poderá também acrescentar fosfatos inorgânicos ao sistema P lábil / P solução através do processo de mineralização.

Quando um fertilizante fosfatado é adicionado ao solo, deverá ser dissolvido, isto é, o P fertilizante deverá se transformar em P solução do solo (GOEDERT e LOBATO, 1980). Haverá inicialmente um grande aumento na quantidade de P lábil e de P solução, porém com o passar do tempo, o P lábil vai adquirindo uma constituição mineralógica mais estável, passando à forma não lábil e, conseqüentemente, a quantidade de P lábil diminuirá. Isto significa que a eficiência dos fosfatos solúveis é

diminuída com o passar do tempo (RAIJ, 1983), mediante o fenômeno denominado "imobilização ou retrogradação".

Nos solos brasileiros o fósforo é considerado um dos principais fatores limitantes à produção agrícola, segundo MELLO et alii (1980).

De acordo com JORGE (1972) o P é o elemento que apresenta maior resposta nos solos do Estado de São Paulo, principalmente pelas culturas de cereais onde são aplicadas doses maciças de 400-500 kg/ha de superfosfato. Como as culturas em geral absorvem apenas 10-20 kg de P/ha, a necessidade de adubação pesada é atribuída ao fato de que grande parte dos fosfatos aplicados se insolubiliza por vários processos, tornando-se inaproveitável pelas plantas. Na maioria dos solos de São Paulo o P faz parte dos sistemas formadores de óxidos hidratados de ferro e alumínio e talvez de outros óxidos, como manganês e titânio (CATANI et alii, 1957). As principais frações de P nos solos de São Paulo, segundo JORGE (1972), são as seguintes:

- 1) P-Al: extraído por solução de NH_4F 0,5N neutro;
- 2) P-Fe: extraído por solução de NaOH 0,1N;
- 3) P-Ca: extraído por solução de H_2SO_4 0,5N;
- 4) P-Fe ocluso: extraído por solução de citrato de sódio 0,3M após redução com ditionito de sódio;
- 5) P-Al ocluso: extraído com solução de NH_4F 0,5N após a extração do P-Fe ocluso;

- 6) P orgânico: faz parte dos compostos orgânicos do solo (fitina, ácidos nucléicos e fosfolipídios).

2.1.2. *Influência da textura*

Os constituintes granulométricos que determinam a capacidade de adsorção estão associados à fração argila, daí a influência da textura sobre a concentração de P da solução do solo. Vários autores têm estudado a causa do grande efeito textural na eficiência da extração de P por reagentes químicos, citando-se entre eles: PRATT e GARBER (1964), FUZZATTO e CAVALERI (1966), NOVAIS (1977), FREIRE et alii (1979). STRAUSS (1951) realizou uma comparação dos teores totais do P com as frações extraídas pelo KOH 0,5N e pelo HCl 0,5N, método usado no Havaí, para solos cultivados com cana-de-açúcar; obteve boas correlações com a produção relativa da cana e sugeriu o uso da relação fósforo/argila como critério adicional de avaliação em caso de dúvida.

Em solos sob vegetação de cerrado do Brasil, LOPES e COX (1979) verificaram que do ponto de vista agronômico a percentagem de argila foi a variável mais adequada para estimar a capacidade de fixação de P.

No Estado de São Paulo, VERDADE et alii (1965) verificaram que os teores de P solúvel em H_2SO_4 0,05N permitiram diferenciar dois tipos de reação, em ensaios com adubação

do algodoeiro: uma para solos arenosos e outra para solos argilosos, tendo estes, teores mais altos de P que os arenosos.

RODRIGUES (1980) concluiu que as características de maior influência sobre a fixação do P em solos paulistas foram: % de C, teor de Al^{2+} trocável, Mg^{2+} trocável e % de argila.

2.1.3. *Influência biológica*

Admite-se que na absorção de P estão envolvidas as características da planta (BARBER, 1979) e entre elas destacam-se: densidade do sistema radicular, comprimento da raiz e mudanças químicas na interface solo-raiz resultantes da atividade da própria planta (NYE e TINKER, 1977; CABALA, 1979).

Certos microrganismos livres que se desenvolvem junto à raiz (MULDER *et alii*, 1969) e associações de endomicorizas (HAYMAN, 1975) também podem desempenhar papel importante na nutrição fosfatada das plantas.

2.1.4. *Solubilidade dos fertilizantes*

A eficiência da adubação fosfatada relaciona-se estreitamente com a reação do fosfato no solo, isto é, o fertilizante necessita reagir com o solo para que a planta possa absorvê-lo da solução do solo GOEDERT e SOUSA (1984). A eficiência de um fosfato pode ser medida pela solubilidade e por sua capacidade em aumentar o fósforo "disponível" na solução do solo

para as plantas. Na prática, esse fósforo é avaliado em laboratório, através da análise de amostras do solo (GOEDERT e LOBATO, 1980). Portanto, as fontes de P constituem um item relevante devido aos seguintes atributos: solubilidade, concentração em P, granulação e preço por unidade de nutriente. Os fosfatos naturais brasileiros são ainda de uso restrito devido a sua baixa solubilidade e baixa eficiência agrônômica. Resultados experimentais têm demonstrado que a eficiência dos fertilizantes parcialmente solúveis está diretamente relacionada com o teor de P total extraível pelos procedimentos aprovados pela legislação brasileira (GOEDERT e SOUSA, 1984).

A situação da adubação fosfatada no Brasil, foi retratada regionalmente num trabalho conjunto: CABALA et alii (1982) referiram-se ao Nordeste; LOBATO (1982) informou sobre a região Centro-Oeste; KOCHHANN et alii (1982), sobre a Região Sul; RAIJ et alii (1982a) particularizaram a situação da adubação fosfatada no Estado de São Paulo. As conclusões e recomendações gerais para o País estão descritas em RAIJ et alii (1982b).

Os princípios fundamentais e as práticas de avaliação comparativa de fontes de fertilizantes foram adequadamente descritas por vários autores dentre os quais destaca-se o trabalho de KHASAWNED e DOLL (1979).

2.2. Técnicas de diagnose do P no solo

Na revisão de KAMPRATH e WATSON (1980) encontra-se um excelente embasamento teórico para o estudo dos métodos de diagnose de P no solo.

Há bastante tempo teve início o uso de análise de solo e de planta para determinar o conteúdo de nutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetal. As primeiras tentativas para caracterizar o suprimento de nutrientes disponíveis para o crescimento das plantas, foram baseadas na análise de solo, enquanto a análise do tecido vegetal com a finalidade de avaliar o estado nutricional do solo, provavelmente teve início na metade do século XIX (SMITH, 1962).

Com a descoberta de que a aplicação de superfosfato aumentava o rendimento das culturas em certos solos, surgiu o estímulo ao emprego das análises de terra e de planta para identificar os solos deficientes em fosfato (P).

2.2.2. *Análise de terra no diagnóstico de P no solo*

Atualmente admite-se que a análise de terra para diagnose da disponibilidade de P tem os seguintes objetivos: a) agrupar solos em classes para fins de recomendação de fertilizantes fosfatados; b) predizer a probabilidade de uma resposta

confiável à aplicação de fertilizantes fosfatados; c) indicar o suprimento de P "disponível" nos solos.

O nível de P do solo, que separa um solo deficiente de um adequado, é denominado nível crítico, segundo CATE e NELSON (1965). Para fins de recomendação de fertilizantes, com base nos níveis críticos os solos são agrupados em três categorias: baixo, médio e alto níveis de P (FITTS e NELSON, 1956).

De acordo com BRAY (1948) uma análise de terra é considerada como um bom instrumento de avaliação se atender a três critérios distintos:

- I) o extrator deve extrair proporcional ou totalmente a fração ou forma de nutriente considerado disponível em solos com propriedades diferentes;
- II) a quantidade extraída deve ser medida com rapidez e precisão razoáveis;
- III) a quantidade extraída deve ser correlacionada com o crescimento e a resposta de cada cultura ao nutriente sob condições diversas.

2.2.3. Análise de planta no diagnóstico de P no solo (KAMPRATH e WATSON, 1980)

A análise de tecido vegetal se propõe a enfati-

zar a importância da concentração de P do solo para o crescimento e produção da planta. Consiste na determinação da quantidade do nutriente inorgânico presente no tecido vegetal e auxilia na prevenção de desordens nutricionais capazes de afetar a manutenção de máxima produção. A base do teste biológico para avaliar a fertilidade do solo é a idéia de que a própria planta é o melhor indicador do nível de fertilidade do meio em que vive: o solo. Entretanto, considerando que nem sempre a concentração do nutriente na planta reflete o estado do nutriente no solo, medidas de correlação devem ser efetuadas entre o crescimento vegetal e concentração de P na planta; e entre as concentrações de nutrientes do solo e da planta.

Os princípios básicos do uso da análise de plantas incluem: relações entre concentração de P no tecido da planta e no solo; relação entre concentração de P no tecido da planta e crescimento ou produção; inclui ainda o conceito de concentração crítica e mínima de P no tecido da planta; fatores que afetam a concentração crítica de P e os possíveis processos afetados pelas alterações de concentração de P no tecido vegetal.

2.2.4. Classificação de extratores e mecanismos de remoção de P do solo

Na avaliação da disponibilidade de P são usados métodos químicos de extração que removem quantidade variável de P das amostras dos solos.

Os extratores empregados em análise de terra classificam-se em quatro categorias de acordo com a natureza química das soluções extratoras:

a) Ácidos fortes de concentração diluída

Os ácidos usados para extrair P são; HCl , HNO_3 e H_2SO_4 . As concentrações variam de 0,002N a 0,075N e o pH das soluções geralmente situa-se entre 2 e 3.

b) Ácidos fortes de concentração diluída junto a um íon complexante

Geralmente o fluoreto é que forma complexo com o íon Al; o exemplo mais comum é a mistura de $\text{HCl} + \text{NH}_4\text{F}$. As concentrações variam de 0,025 a 0,1N para o ácido, sendo geralmente 0,03N para o NH_4F .

c) Ácidos fracos de concentrações diluídas

Para a extração de P os ácidos mais comuns são: cítrico, láctico e acético. Um dos primeiros extratores usados foi a solução de ácido cítrico a 1% (DYER, 1894).

d) Soluções alcalinas tamponadas

A mais comum para extração de P é NaHCO_3 que foi inicialmente preparada para solos calcários (OLSEN et alii, 1954).

Os mecanismos de remoção do P da fase sólida do solo compreendem basicamente quatro reações:

a) Ação solvente de ácidos

As soluções de pH 2 a 3 concorrem para que a atividade do íon H dissolva os fosfatos de cálcio, podendo também solubilizar alguns fosfatos de Al e Fe. A ordem crescente de solubilidade nestas soluções ácidas é a seguinte: $P-Ca > P-Al > P-Fe$ (THOMAS e PEASLEE, 1973).

b) Substituição de ânion

O fósforo adsorvido às superfícies de $CaCO_3$ e óxidos hidratados de Fe e Al pode ser substituído por outros ânions tais como: acetato, citrato, lactato, sulfato e bicarbonato (OLSEN *et alii.* 1954).

c) Complexação de cátions ligando P

Íons fluoretos são eficientes na complexação de íons Al e, desta maneira, liberam o P ligado ao Al (CHANG e JACKSON, 1957). O cálcio é precipitado pelo fluor e assim o P presente nos solos como $CaHPO_4$ será extraído pelas soluções de íons F (THOMAS e PEASLEE, 1973).

d) Hidrólise de cátions ligando P

Soluções extratoras contendo íons OH extraem P ligado ao Al e ao Fe devido a hidrólise destes dois elementos. Assim, o $NaHCO_3$ tamponado a pH 8,5 é muito eficiente na extração do P-Al e algumas vezes P-Fe (TYNER e DAVIDE, 1962).

2.3. Evolução dos métodos de extração de P

Dyer (1894) citado por KAMPRATH e WATSON (1980) desempenhou um marcante papel na me-

dida do P do solo em relação a necessidade de fertilizantes fosfatados, imaginando uma solução extratora ideal que teria um pH semelhante ao da seiva da raiz, e seus estudos com várias espécies, indicaram que a acidez da seiva das raízes era equivalente a uma solução de ácido cítrico a 1%.

RUSSEL e PRESCOTT (1916-1917) observaram que soluções diluídas de ácidos fortes, como HNO_3 e HCl extraíam menos P do que ácidos fracos, como o cítrico e o oxálico, à mesma concentração.

A partir de 1945, com avanço da Química Agrícola e da Fertilidade do Solo surgiram novas perspectivas para o entendimento e interpretação da análise de terra (KAMPRATH e WATSON, 1980).

As pesquisas iniciais sobre disponibilidade de P empregavam a técnica de ataque do solo com ácidos fortes, como a extração com HNO_3 a 20% com calcinação (CABALA e SANTANA, 1983). O reconhecimento de que os dados assim obtidos não apresentavam boas correlações com a resposta biológica, estimulou a investigação de outros métodos de extração, os quais, também não foram satisfatórios por serem considerados de baixa capacidade extratora (MOHR e CARVALHO, 1963), e/ou empíricos (RAIJ, 1961).

Desde então, têm sido efetuadas diversas tentativas no sentido de desenvolver vários métodos para caracterizar o P do solo. Desta maneira, importantes métodos têm sido propostos, tais como: isotermas de solubilidade, potenciais eletroquímicos dos fosfatos, técnicas de fracionamento de P,

produto de solubilidade, troca isotópica com P radioativo e resina de troca iônica. Geralmente, são técnicas capazes de avaliar as respostas de culturas à adição do fósforo, porém, na prática, muitas vezes têm revelado ser de utilização inconveniente e/ou de custo elevado, não sendo, portanto, adaptáveis à rotina de laboratório. Um método que oferece boas perspectivas de aperfeiçoamento é o da resina de troca iônica, conforme será discutido posteriormente.

De acordo com KAMPRATH e WATSON (1980) desde o tempo em que DYER (1894) introduziu o uso de solução de ácido cítrico, os pesquisadores têm-se empenhado em extrair a fração de P do solo considerada "disponível" para as plantas. A base técnica é a medida da quantidade de P dissolvida quando a terra é tratada com um reagente extrator, sendo a maioria deles de natureza ácida (COOK e HISLOP, 1963).

De acordo com CABALA et alii (1972), no início das investigações da Química Agrícola foi dada muita ênfase a determinação dos conteúdos totais de nutrientes nos solos, objetivando predizer a resposta das culturas à aplicação de adubos. Porém, segundo RAIJ (1978) as determinações de P total mostraram-se insatisfatórias para informar sobre a disponibilidade do elemento para as plantas. Surgiram então outros métodos químicos considerados empíricos para determinar as quantidades de fósforo correlacionáveis como a fração que seria "disponível" para as plantas.

COOK e HISLOP (1963) consideraram que a desvantagem dos extratores ácidos é que eles reagem com outros componentes do solo, além do fosfato, sendo alterada a natureza da terra, de modo que a avaliação quantitativa de P da solução do solo nem sempre representa o valor real do P disponível.

Segundo RUSSEL (1973) a extração do P por meio de solventes é frequentemente criticada porque o P extraído quimicamente vem de uma fração não identificada e ainda não foi encontrada uma solução adequada para todas as condições de solos. Apesar das críticas os extratores prosseguem, sendo utilizados em análises de terra para recomendação de fertilizantes, até que novas pesquisas detectem alternativas mais viáveis do que as técnicas de uso atual.

2.4.1. Métodos principais de determinação de P do solo

Existe grande variedade de métodos de extração de P dos solos refletindo provavelmente a complexidade do comportamento deste elemento. Os principais métodos encontrados na literatura (RAIJ, 1978) são de natureza química, física e biológica.

I. Métodos Químicos: Truog (TRUOG, 1930); Morgan (MORGAN, 1937); Bray 1 e Bray 2 (BRAY e KURTZ, 1945); Mehlich (NELSON et alii, 1953); Olsen (OLSEN et alii, 1954); Cloreto de Cálcio (SCHOFIELD, 1955); e água (PAAUW van der, 1971).

II. Método Físico: troca isotópica com P^{32}

Valor E (MCAULIFFE et alii, 1948).

III. Método físico-químico-biológico: troca isotópica envolvendo plantas:

Valor L (LARSEN, 1952).

IV. Método físico-químico:

Resina de troca iônica (AMER et alii, 1955; COOKE e HISLOP, 1963).

2.4.2. Extratores de P no Brasil

No Brasil os extratores convencionalmente usados são: a solução extratora de Mehlich, um duplo ácido (H_2SO_4 0,025N + HCl 0,05N) e o extrator H_2SO_4 0,05N. Este último foi desenvolvido no Instituto Agrônomo de Campinas (CATANI e GARGANTINI, 1954), recomendando a extração de 4 g de terra com 100 ml de H_2SO_4 0,05N. A partir de 1965 este extrator passou a ser usado na proporção de 10 cm³ de terra e 100 ml de solução sendo adotado nos laboratórios do Estado de São Paulo, com a denominação de método IAC (RAIJ, 1983).

O duplo ácido desenvolvido por Mehlich e descrito por THOMAS e PEEASLE (1973) passou a ser usado no Brasil a partir de 1965 na proporção de 10 cm³ de terra e 100 ml de solução, sendo denominado método Mehlich ou Carolina do Norte, conforme RAIJ (1983).

Atualmente no Estado de São Paulo o método IAC está sendo substituído pelo da resina de troca iônica, já adotada nos laboratórios de solos do IAC e da ESALQ.

2.5. Comparação e seleção dos métodos de extração de P

Uma excelente revisão de literatura pertinente à seleção de métodos de avaliação do fósforo nos solos foi realizada por RAIJ (1978). O autor aborda aspectos do comportamento do P nos solos e classifica os métodos de determinação de P, estabelecendo comparações entre os diversos métodos existentes na literatura pesquisada.

CABALA e SANTANA (1983) enfocam conceitos de disponibilidade do P, abordam os aspectos inerentes à seleção dos métodos de diagnose, desde os antecedentes de sua utilização até a evolução processada com a instalação dos laboratórios de análise rápida no Brasil.

RAIJ (1983) salienta que para nenhum outro nutriente, existem tantos trabalhos dedicados a métodos de extração, como para o P.

A causa mais provável da existência de tantos métodos pode ser atribuída ao interesse dos pesquisadores em buscar um procedimento mais simples para avaliar o P-lábil e a concentração da solução do solo. A comparação de métodos sur-

giu naturalmente como necessidade de se eleger as alternativas mais viáveis entre tantos métodos de extração. São exemplos de comparação de métodos os seguintes trabalhos: CHANG e JUO(1963); DIEST (1963); BLANCHAR e CALDWELL (1964); BORNEMISA e IGUE (1967); CABALA e SANTANA (1972); DAUGHTREY et alii (1973); HOLAN DA (1974); OKO e AGBOOLA (1974); EKPETE (1976); ENWEZOR (1977); NOVAIS e KAMPRATH (1979); SFREDO et alii (1979); TANAKA et alii (1981); BAHIA FILHO et alii (1982); DELAZARI et alii (1983).

Dos trabalhos revisados algumas inferências de ordem prática podem ser formuladas:

a) Na comparação de diferentes métodos de determinação de P, as indicações de superioridade de alguns deles não é consistente; vários foram bem relacionados com a absorção pela planta, mas as quantidades de P extraídas foram diferentes para grupos de solos distintos. Isto significa que os métodos são selecionados para grupos de solos com características químicas semelhantes, fornecendo estimativas comparáveis de P.

b) Os métodos Olsen e Bray foram mais estáveis na recuperação de P do solo, em função das variações de tempo e de fontes de P empregadas, o que significa que estes são os mais versáteis para condições diferentes, sendo o Olsen adequado até para solos alagados.

c) A literatura consultada não mostra uma explicação convincente das diferenças no grau de correlação entre os méto

dos, do ponto de vista da Química do Solo. O trabalho de CHANG e JUO (1963) sugere que altos coeficientes de correlação poderiam ser explicados por semelhança dos métodos quanto à seletividade da dissolução dos mesmos, em relação a um grupo de partículas do solo.

d) As quantidades total e relativa de P dissolvido dependem das quantidades relativas das várias formas de P e da solubilidade dos fosfatos no extrator.

e) A maioria dos métodos para P baseia-se em determinações que refletem o fator quantidade (Q) ou intensidade (I) devendo Q ser considerado com maior atenção.

f) Diversos trabalhos colocam em evidência o método da resina como mais promissor.

2.6. Correlação dos resultados analíticos com a resposta biológica de algumas culturas

Considerando que a planta pode ser o melhor indicador do nível de fertilidade do solo costuma-se usar a análise de tecido vegetal para verificar se existe correlação entre a concentração de P no tecido e as medidas de P no solo. Dois parâmetros do solo poderão ser medidos: concentração de P do solo removido pelos extratores e concentração de P da solução em equilíbrio junto da raiz. Quanto mais o coeficiente de correlação estiver próximo de 1,0, mais a análise da planta dará boa estimativa do P da solução do solo.

CABALA e SANTANA (1983) afirmam que tem sido dispensada grande atenção ao desenvolvimento das técnicas para caracterização das formas inorgânicas de P do solo através de extrações sucessivas (CHANG e JACKSON, 1957) e também o grau de correlação entre essas frações e as respostas biológicas em experimentos de vasos tem merecido o interesse de muitos pesquisadores.

Nos estudos de correlação têm sido empregadas diversas culturas como plantas-testes ou indicadoras citando-se entre outras: batata (PAAUW, 1971); cevada (SUSUKI et alii, 1963); milho (WALMSLEY e CONFORTH, 1973; PEREIRA e FARIA, 1978); milho e alfafa (THOMPSON e PRATT, 1954); milho e caupi (SMITH e BASTOS, 1985); milho e trigo (FEITOSA e RAIJ, 1976); milheto (AL-ABBAS e BARBER, 1964); soja (RAIJ e DIEST, 1980; MIRANDA e VOLKWEIS, 1981); painço (ALMEIDA NETO e BRASIL SOBRINHO, 1977; SOBRAL e MELLO, 1984); sorgo (FERREIRA e MAGALHÃES, 1974); CABALA e WILD, 1982; NOVELINO et alii, 1985); tomate (BALERDI et alii, 1968). Em quase todos estes trabalhos têm-se obtido boas correlações entre a absorção de P pela planta e o P extraído por um ou vários extratores, porém, a diversidade de condições em que as pesquisas foram conduzidas leva a resultados nem sempre reproduzíveis e/ou conclusões divergentes sobre a eficiência de alguns dos métodos empregados.

Embora a análise foliar ofereça perspectivas promissoras em algumas culturas (CABALA e SANTANA, 1983), seu uso é ainda limitado quase exclusivamente a trabalhos de pesquisa.

2.7. Uso de resina trocadora de íons

A técnica da resina trocadora de íons foi introduzida por AMER et alii (1955) que propuseram o uso da mesma para remover a fração lábil de P inorgânico do solo por ser ela capaz de predizer a absorção seletiva de P pelas plantas em vários solos sob condições semelhantes.

Sua viabilidade para rotina de laboratório foi confirmada por DIEST et alii (1960), COOKE e HISLOP (1963). Os detalhes do procedimento foram descritos por HISLOP e COOK (1968) e também por GLORIA e VITTI (1968), que descreveram a técnica de separação de cátions e ânions, mediante a coluna de resina.

O P extraído pela resina tem apresentado boas correlações com a resposta biológica (LATHWELL et alii, 1958; DIEST et alii, 1960; COOKE e HISLOP, 1963; PALMA e FASSBENDER, 1970) exceto em casos esporádicos, como: a) solos salinos com carbonatos, deficientes em P, baixo teor de matéria orgânica e alcalino; b) solos com alto teor de P, baixo teor de matéria orgânica e ácido; nestes as correlações foram muito baixas (MAHECHA et alii, 1977).

ZUNINO et alii (1972) e SIBBESSEN (1977) descreveram um procedimento simplificado em que a resina é colocada em envoltório de tela de nylon para facilitar sua separação do solo, sendo que o último autor manteve a moagem do solo e outro

a dispensou. BARROW e SHAW (1977) fizeram restrição a esta modificação, assinalando um decréscimo do P. extraído pela resina com o emprego do envoltório.

As vantagens da resina foram explícitas por vários autores: MOSER et alii (1959); CRISANTO e SUTTON (1973); COOKE e HISLOP (1963). Ela é considerada uma técnica analítica satisfatória, rápida, fácil e bem fundamentada teoricamente; sua atuação se assemelha à da planta, removendo apenas a fração P-lábil enquanto os demais métodos removem frações lábil e não lábil de P (MUNIZ, 1983).

CABALA e SANTANA (1983) confirmaram a superioridade do método da resina de troca aniônica sobre as soluções extratoras, notadamente quando se utiliza rochas fosfatadas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em casa de vegetação e nos laboratórios de Química e Fertilidade do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em Piracicaba, São Paulo.

3.1. Procedimento experimental

3.1.1. Solos: coleta e preparação de amostras

Foram coletadas amostras compostas do horizonte superficial, a 0-20 cm de profundidade de dois solos, procedentes do município de Piracicaba, São Paulo. Estes solos foram classificados por RANZANI et alii (1966) como: a) Latossolo Vermelho Amarelo fase arenosa, série Paredão Vermelho; b) Latossolo Vermelho-Escuro orto, série Guamium (argiloso). Os critérios para seleção das amostras foram a textura e o baixo teor de fósforo solúvel em H_2SO_4 0,05N, visando obter resposta à

adubação fosfatada. A caracterização química e física dos solos selecionados encontra-se na tabela 1.

Tabela 1 - Principais atributos químicos e físicos de dois latossolos de Piracicaba, São Paulo

Atributos dos solos	Latosolos	
	LVA fase arenosa	LVE orto
	Série Paredão Vermelho	Série Guanium
a) Químicos		
pH (H ₂ O 1:2,5)	5,7	5,5
% C orgânico	0,33	1,05
PO ₄ ^{-3*} (e.mg/100 g)	0,02	0,02
K ⁺ (e.mg/100 g)	0,05	0,06
Ca ²⁺ (e.mg/100 g)	0,64	0,92
Mg ²⁺ (e.mg/100 g)	0,45	0,46
Al ³⁺ (e.mg/100 g)	0,24	0,50
H ⁺ (e.mg/100 g)	0,48	3,28
Soma de bases (e.mg/100 g)	1,14	1,44
CTC (e.mg/100 g)	1,62	4,72
V (%)	70,40	30,51
Sat. Al ³⁺	17,39	25,77
b) Físicos		
Textura	arenosa	argilosa
Argila (%)	5,70	68,90
Silte (%)	3,50	18,60
Areia (%)	90,80	12,50
Densidade aparente	1,50	0,93

FONTE: Laboratório de Fertilidade do Solo, no Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ.

* Método H₂SO₄ 0,05N.

Na preparação das amostras, foi empregada a técnica TFSA (terra fina seca ao ar), sendo as mesmas homogeneizadas, e passadas em peneira de 2 mm; posteriormente colocadas em vasos de argila, com capacidade para 3 kg de terra.

3.1.2. Pesquisa em casa de vegetação

Foram empregados 104 vasos de argila, previamente impermeabilizados com Neutrol. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições e 13 tratamentos, compreendendo: uma testemunha (sem fósforo), três fontes de P e 4 doses: 50, 100, 150 e 200 ppm (partes por milhão) de P conforme a seguinte distribuição:

- NK (testemunha);
- NK + P na forma de fosfato monoamônico (MAP), em 4 doses;
- NK + P na forma de superfosfato triplo (ST), em 4 doses;
- NK + P na forma de fosfato natural (FN), em 4 doses.

As fontes fosfatadas foram analisadas quanto ao teor de P_2O_5 total e solúvel. As quantidades de fertilizantes fosfatados aplicadas em cada tratamento encontram-se na tabela 2 e foram estabelecidas em função do conteúdo de P total em cada fonte de fosfato (tabela 3), para atingir as doses presentes em cada tratamento.

A adubação potássica constou de 361,5 mg de KCl por vaso, calculadas na base de 100 ppm de K para o solo atin

Tabela 2 - Quantidades de fertilizantes fosfatados aplicados nas terras do experimento

Doses de P (ppm)	FERTILIZANTES (mg/vaso)		
	Superfosfato triplo	Fosfato Monoamônico	Fosfato natural "Alvorada"
0	-	-	-
50	712	634	1015
100	1424	1268	2031
150	2136	1902	3046
200	2848	2536	4061

Tabela 3 - Fósforo total e solúvel contido em três fontes de fertilizantes fosfatados

Fertilizantes fosfatados ^c e fórmulas químicas	Total (%)		% solúvel em:						Tipo
			HCl ^a		CiNH ₄ ^b + H ₂ O		H ₂ O		
	P ₂ O ₅	P	P ₂ O ₅	P	P ₂ O ₅	P	P ₂ O ₅	P	
ST =Ca(H ₂ PO ₄) ₂	48,2	21,1	43,9	19,2	45,8	20,0	41,9	18,3	solúvel
MAP=NH ₄ H ₂ PO ₄	54,2	23,7	50,0	21,8	53,8	23,5	-	-	solúvel
FN =CaF ₂ .3CO ₃ (PO ₄) ₂	33,9	14,8	7,9	3,4	-	-	-	-	insolú- vel

a - HCl = ácido cítrico 2% (1:100)

b - CitNH₄ = citrato de amônio

c - ST = superfosfato triplo;

MAP = fosfato monoamônico;

FN = fosfato natural "Alvorada".

gir aproximadamente 0,30 e.mg K^+ /100 g de solo, ou seja, 300 mg de K/vaso com 3 kg de terra.

A adubação nitrogenada foi efetuada com 563,5 mg de uréia por vaso, equivalentes a 84,5 ppm de N, em cada tratamento, exceto no caso dos vasos que receberam MAP, cuja quantidade de uréia foi reduzida para 253,6 mg/vaso, para manter o mesmo nível de nitrogênio, levando-se em conta os 10,39% de N contidos no MAP. A aplicação dos fertilizantes fosfatados foi feita em mistura com o KCl e a uréia, mediante agitação da mistura dos fertilizantes com a terra dos vasos, em saco plástico.

Cada terra contida nos vasos foi inicialmente umedecida com uma irrigação estimada em 70% da capacidade de retenção, equivalente a 600 ml de água para o solo arenoso e 750 ml para o argiloso, sendo as irrigações subsequentes aplicadas proporcionalmente à secagem dos mesmos.

Após 28 dias de incubação dos fertilizantes, procedeu-se a semeadura da planta indicadora Panicum miliaceum (painço); foram semeadas aproximadamente 150 sementes por vaso, para garantir a uniformidade do "stand" após o desbaste; a germinação ocorreu em 3-4 dias e o desbaste foi efetuado 7 dias após a semeadura, deixando-se 20 plantas por vaso.

Para completar a adubação nitrogenada a 200 ppm, foram aplicados em cobertura 20 ml de solução contendo

115,5 ppm de N, por vaso, sendo a aplicação realizada 15 dias após a emergência das plantas.

A unidade foi mantida de acordo com as necessidades das plantas, através de irrigações periódicas com cerca de 150-200 ml de H_2O por vaso.

A colheita do painço foi efetuada aos 40 dias após a emergência, cortando-se a parte aérea e levando-se o material acondicionado em sacos de papel pardo, para secagem em estufa a $60-70^{\circ}C$, até peso constante, obtendo-se assim, o peso de matéria seca em g/vaso.

3.1.3. Pesquisa em laboratório

a) Análise de terra

Para avaliação do P do solo foram efetuadas três amostragens de terra, sendo a primeira diretamente no campo, para a caracterização físico-química dos solos, visando o critério de baixa disponibilidade de P (ver tabela 1).

A segunda amostragem aos 15 dias após incubação com fosfatos foi obtida nos vasos, coletando-se as amostras com um cachimbo de bronze e misturando-se as 4 repetições de um mesmo tratamento para obter uma amostra composta pesando aproximadamente 40 g. A terceira amostragem foi efetuada após a colheita do painço, empregando-se o mesmo cachimbo, porém, as repetições de cada tratamento foram mantidas individualmen-

mente para evitar grandes erros e possibilitar a análise estatística. Nas amostras coletadas dos vasos, o fósforo dos solos foi analisado empregando-se três extratores: 1) H_2SO_4 0,05N (CATANI e GARGANTINI, 1954), antigo método do IAC (Instituto Agronômico de Campinas; 2) Duplo ácido H_2SO_4 0,025N + HCl 0,05N, método de Mehlich ou Carolina do Norte, descrito em THOMAS e PEASLEE (1973); 3) Resina trocadora de íons (RAIJ e QUAGGIO, 1983), atual método do IAC. Os dados obtidos, representados como P resina, P H_2SO_4 e P Mehlich encontram-se nas tabelas 5 e 6.

As análises de P dos solos pelos dois extratores químicos foram realizadas nos laboratórios de solos do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, enquanto a extração de P com a resina foi efetuada no laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Química, ambos pertencentes à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ).

Os valores de fosfatos obtidos com o extrator H_2SO_4 e com o duplo ácido H_2SO_4 + HCl foram expressos em e.mg de $\text{PO}_4^{-3}/100$ g (equivalente miligrama de $\text{PO}_4^{-3}/100$ gramas de solo) enquanto os valores obtidos com a resina foram expressos em $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ou ml (microgramas de P por centímetro cúbico de solo ou mililitro). Todos os dados foram convertidos a ppm (partes por milhão) para facilitar a comparação, assim:

1) Conversão de e.mg/100 g a ppm (extratores químicos)

$$P_{\text{ext}} = e.\text{mg}/\text{PO}_4^{-3}/100 \text{ g} \times 103 = \text{ppm de P}$$

2) Conversão de $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ a ppm (resina)

$$P_{\text{resina}} = P(\mu\text{g}/\text{cm}^3) : \text{dap} = \text{ppm de P.}$$

onde dap= densidade aparente dos solos (Tabela 1).

O esquema de delineamento experimental foi em parcelas subdivididas considerando-se na parcela os fertilizantes e na subparcela os extratores.

b) Análise de tecido vegetal

Após a obtenção do peso de matéria seca da parte aérea, o material foi submetido a moagem e ao processo de digestão nítrico-perclórica, obtendo-se um extrato para determinação colorimétrica do P absorvido, segundo o método vanado molibdato de amônio, descrito por SARRUGE e HAAG (1974). Paralelamente, a partir de uma solução-estoque contendo 80 μg de P/ml construiu-se uma curva padrão com soluções diluídas contendo: 0,2 - 0,4 - 0,8 - 1,2 - 1,6 - 2,0 - 2,4 e 2,8 ml da solução-estoque em 25 ml de H_2O desionizada; estes padrões foram submetidos à leitura em colorímetro Klett-Summerson com filtro azul 420 milimicra. Plotando-se as leituras obtidas no eixo dos X e as concentrações dos padrões convertidas a μg de P, no eixo dos Y, obteve-se uma curva padrão do tipo $Y = a + bx$, cujo ajustamento permitiu obter o fator $f = 1,032 \times 10^{-3}$. A concentração de P na parte aérea representada pelo P absorvido (Pab) foi obtida pelo produto $L \times f$, onde L = leitura dos extratos, fornecida pelo colorímetro; portanto, te-

mos:

$$\% \text{ Pab} = L \times 0,001032.$$

Os parâmetros da planta-teste, P absorvido (%), P acumulado (mg/vaso) e produção de matéria seca (g/vaso), encontram-se na tabela 8. O cálculo da acumulação de P foi efetuado mediante o produto: P absorvido x matéria seca.

3.1.4. Análise estatística e correlação/regressão

Os parâmetros de avaliação, P extraído (ppm) pelos três extratores, concentração de P (%) na parte aérea, e massa de matéria seca (g/vaso) foram submetidos a análise de variância, efetuada no Centro de Computação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) e os estudos de regressão/correlação no Departamento de Entomologia da ESALQ.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise físico-química de amostras dos dois latossolos, na tabela 1, permite a comparação das diferenças e ou semelhança entre os mesmos, podendo contribuir para explicar pelo menos em parte, a variação de comportamento dos extratores de P nos dois tipos de solo:

- a) Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) fase arenosa, série Paredão Vermelho (Orthic Rhodochrult): solo medianamente ácido, com baixo teor de C orgânico; baixos teores de P, K, Ca e Al; médio teor de Mg; baixo valor de S (soma de bases trocáveis); baixa CTC (capacidade de troca de cátions); e média % de V (saturação de bases).
- b) Latossolo Vermelho-Escuro (LVE) orto, série Guamium (Orthic Haplacrox): solo argiloso, fracamente ácido, com média percentagem de C orgânico; baixos teores de P, K e Ca; médios teores de Mg e Al; baixos valores de S, CTC e V.

O P nativo encontrado nos dois latossolos foi de 0,02 e.mg PO_4^{3-} /100 g de terra (Tabela 1), equivalentes a 2,16 ppm de P.

4.1. Ação dos extratores após o período de incubação

Na tabela 4 encontram-se os teores de P nativo (testemunha) e adicionado, extraídos por meio de três extratores: resina trocadora de íons, H_2SO_4 0,05N e solução de Mehlich, H_2SO_4 0,025N + HCl 0,05N. A extração em presença e ausência de adubação fosfatada, foi efetuada após um período de 15 dias da incubação das amostras de terra, coletadas dos vasos.

4.1.1. Extração na ausência de adubação fosfatada (P_0 = testemunha)

Os teores de P extraídos pela resina nos dois latossolos, comparados ao valor inicial de 2,16 ppm de P, permaneceram praticamente inalterados: 2,13 ppm para o LVA e 2,31 ppm para o LVE. O H_2SO_4 , no LVA extraiu duas vezes mais P que a resina, enquanto a solução de Mehlich extraiu 1,5 vezes mais que a mesma; já no LVE o H_2SO_4 equiparou-se à resina, enquanto que o Mehlich extraiu o menor teor, 1,03 ppm de P. Estes dados confirmam a carência do elemento nos dois latossolos e sugerem que a resina seja mais estável do que os extratores químicos, pois, o P-resina manteve valor idêntico ao P nativo, enquanto a quanti-

Tabela 4 - Teores de P extraídos por três extratores em amostras de dois latossolos, após 15 dias da incubação com três fontes de fosfatos, em Piracicaba, São Paulo

Fontes de P	Doses de P (ppm)	Teores de P (ppm) extraídos dos solos					
		LVA fase arenosa série Par. Vermelho			LVE orto série Guamium		
		P resina	P H_2SO_4	P Mehlich	P resina	P H_2SO_4	P Mehlich
Testemunha	0	2,13	4,12	3,09	2,31	2,06	1,03
Fosfato	50	16,97	20,60	19,57	4,62	2,06	2,06
Monoamônico	100	32,55	21,63	21,63	6,09	9,27	9,27
(MAP)	150	36,36	25,75	28,84	38,15	15,45	16,48
	200	85,24	42,23	126,69	84,30	23,69	25,75
Médias	-	42,78	27,55	49,18	33,29	12,61	13,39
Super-	50	14,42	23,69	25,75	4,90	2,06	2,06
fosfato	100	16,75	30,90	32,96	47,78	5,15	6,18
triplo	150	32,08	30,90	35,02	50,48	9,27	10,30
(ST)	200	69,59	47,38	41,20	92,63	25,75	24,72
Médias	-	33,20	33,21	33,73	48,94	10,55	10,81
Fosfato	50	14,29	77,25	63,86	10,40	3,09	3,09
natural	100	22,09	84,46	70,04	18,17	31,93	28,84
(FN)	150	24,88	90,64	75,19	23,76	47,38	59,74
	200	52,46	119,48	126,69	49,91	94,76	98,88
Médias	-	28,43	92,95	83,94	25,56	44,29	47,63
Média Geral	=	32,29	47,61	51,57	33,34	20,91	22,18

dade de P extraída pelos métodos químicos variou com o passar do tempo.

4.1.2. Extração em presença de fontes fosfatadas

Com a adição de fertilizantes fosfatados em doses crescentes as quantidades de P extraídas pelos três extratores cresceram proporcionalmente, concordando assim com os resultados alcançados por CATANI e NAKAMURA (1971), atendendo simultaneamente ao primeiro critério de BRAY (1948), segundo o qual a análise de terra é um bom instrumento de avaliação da disponibilidade de P nos solos.

O aumento de P extraído nos dois latossolos foi bastante variável em função das fontes de fosfatos adicionados como: fosfato monoamônico (MAP), superfosfato triplo (ST) e fosfato natural (FN) "Alvorada".

4.1.3. Interação dos extratores com as fontes fosfatadas

A interação dos extratores com os fertilizantes fosfatados aplicados ao LVA e ao LVE resultaram em nítida variação nos teores de P extraído de ambos os solos.

a) Ação dos extratores na presença de MAP

No LVA a média de P Mehlich (49,18 ppm de P) superou as médias obtidas com a resina (42,78 ppm) e o H_2SO_4 (27,55

ppm); a ação dos extratores obedeceu a seguinte ordem de extração: Mehlich > resina > H_2SO_4 .

No LVE a capacidade média de extração da resina (33,29 ppm de P) foi duas vezes superior a dos extratores químicos, cuja extração média situou-se próxima de 13 ppm de P; a sequência de extração foi a seguinte: resina > Mehlich > H_2SO_4 .

b) Ação dos extratores na presença de ST

Com adição de ST ao LVA, as médias de extração pelos três métodos mantiveram-se equivalentes e próximas a 33 ppm de P.

No LVE a média de P resina se elevou a 48,94 ppm, superando cerca de quatro vezes a ação dos extratores químicos, cujo teor de P extraído, esteve próximo de 11 ppm. A sequência de extração foi: resina > Mehlich $\approx$ H_2SO_4 .

c) Ação dos extratores na presença de FN

Com aplicação de FN no LVA, a maior média de extração foi obtida com H_2SO_4 ($P_{H_2SO_4}$ = 92,95 ppm) em contraste com a média mínima de 27,55 ppm alcançado pelo mesmo extrator ao ser usado o MAP como fonte fosfatada; a média de $P_{Mehlich}$ = 83,94 ppm também foi bastante elevada, enquanto a média de P resina atingiu apenas 28,43 ppm; a sequência de extração foi: H_2SO_4 > Mehlich > resina.

No LVE, a média de P resina caiu para 25,56 ppm,

contra $P_{H_2SO_4} = 44,29$ ppm e $P_{Mehlich} = 47,63$; deste modo a ação extratora da resina foi reduzida à metade da ação dos extratores químicos e a sequência de extração obedeceu a seguinte ordem: Mehlich > H_2SO_4 > resina.

O P extraído pela resina trocadora de íons representa a extração do elemento da fração lábil, enquanto que os extratores químicos extraem fósforo tanto da fração lábil quanto da fração não lábil, conforme mencionam diversos autores: BAHIA FILHO (1982), MUNIZ (1983) e NOVELINO et alii (1985).

4.1.4. *Comparação da eficiência dos extratores, após o período de incubação com fosfatos*

Na presença das fontes solúveis MAP e ST, os três extratores apresentaram certa equivalência na extração de P, sendo, porém, a solução de Mehlich mais eficiente para o LVA e a resina mais eficiente para o LVE.

A superioridade da resina já foi verificada por vários autores, dentre os quais, cita-se: RAIJ (1978), CABALA e SANTANA (1983), GRANDE et alii (1986); somente em casos esporádicos ela tem-se mostrado inferior às soluções extratoras (WILLIAMS, 1965).

Com o uso de FN evidenciou-se uma ação muito mais enérgica dos extratores químicos, em comparação com a resina, sendo esta verificação concordante com as de FOLE e MIELNICZUK

(1975) e SFREDO et alii (1979). É que os extratores ácidos, como H_2SO_4 e Mehlich, dissolvem resíduos de fosfatos naturais que ainda não se dissolveram no solo, têm pouco a ver com a disponibilidade de P e, em consequência, os resultados são mais elevados (RAIJ, 1983), já que dissolvem o adubo que permaneceu sem reação no solo (FEITOSA e RAIJ, 1976).

Em geral, os teores de P resina pouco variaram quando se comparou as médias obtidas no LVA e no LVE, denotando a estabilidade do método e sua versatilidade para solos diferentes.

Os valores de P extraído pelos métodos químicos no LVE foram cerca de três vezes menos do que no LVA; este fato está de acordo com RAIJ (1983) e com CABALA e SANTANA (1983), segundo os quais, as quantidades de P extraídas dos solos argilosos pelos métodos químicos, são sempre muito baixas. Portanto, os extratores químicos subestimaram os teores de P do solo argiloso e superestimaram os valores de P quando foi usado o FN nos dois latossolos, o que atesta a ineficiência destes extratores para uso generalizado.

4.1.5. *Curvas de extração de P após o período de incubação*

As figuras 1, 2 e 3 confeccionadas a partir dos dados da tabela 4, representam curvas elucidativas dos três métodos de extração de P, respectivas às fontes de fertilizantes MAP,

Figura 1 - Extração de P por três extratores em amostras de dois latossolos, após 15 dias da incubação com fosfato monoamônico (MAP), em Piracicaba, São Paulo

Figura 2 - Extração de P por três extratores em amostras de dois latossolos, após 15 dias de incubação com superfosfato triplo (ST), em Piracicaba, São Paulo

ST e FN aplicados ao LVA e ao LVE.

Observou-se uma tendência de linearidade do P extraído pelos três extratores em função das doses de P adicionado sob forma das três fontes, e assim, as curvas foram ajustadas a equações de regressão do tipo $y = a + bx$, as quais, acompanham a legenda das figuras, juntamente com os coeficientes de determinação, $r^2 > 90\%$ para todos os extratores.

A ação dos extratores foi altamente correlacionada ($r > \pm 0,95$) com as doses e fontes de P aplicadas aos dois latossolos, significando que as técnicas empregadas são bastante satisfatórias para recomendar adubação fosfatada, conforme afirmaram CABALA e SANTANA (1983).

4.2. Ação dos extratores após a colheita de *Panicum miliaceum* (painço)

A tabela 5 apresenta os teores médios de P extraídos por meio da resina trocadora de íons, pelo H_2SO_4 e pela solução de Mehlich, em ausência e em presença dos fertilizantes fosfatados, MAP, ST e FN, aplicados aos dois latossolos: LVA fase arenosa, série Paredão Vermelho e LVE orto, série Guamium, após a colheita da planta-teste *Panicum miliaceum* (painço), com um ciclo de 40 dias.

Tabela 5 - Variação nos teores médios de P extraído por três extratores após a colheita de Panicum miliaceum (painço) em relação a três fontes de fosfatos adicionados a dois latossolos de Piracicaba, São Paulo.

Fontes de P	Doses de P (ppm)	Teores de P (ppm) extraídos dos solos					
		LVA fase arenosa série Par. Vermelho			LVE orto série Guanium		
		P resina	P H ₂ SO ₄	P Mehlich	P resina	P H ₂ SO ₄	P Mehlich
Testemunha	0	15,35m	4,63m	5,40m	15,58m	1,03l	1,03l
Fosfato	50	34,93j	23,90l	26,26l	19,84l	3,09k	3,34k
mono-	100	63,67f	56,39i	59,74i	26,55i	7,72i	9,01h
amônico	150	122,29b	84,71g	93,21f	44,02e	13,64h	16,48f
	200	124,53a	115,61d	119,48e	56,18a	18,02f	21,37d
Médias		86,35	70,15	74,67	36,64	10,61	12,35
Super-	50	38,63h	27,78f	30,90k	20,60k	3,34j	4,37j
fosfato	100	68,00e	53,13j	65,14h	32,89f	7,72i	10,81g
triplo	150	99,36c	115,10e	119,99d	47,84c	14,67g	19,31e
	200	80,55d	131,06c	129,01c	55,25b	22,40e	30,12c
Médias		71,63	81,76	86,26	39,14	12,03	16,15
Fosfato	50	20,91l	44,54k	46,35j	22,54j	6,43c	8,24i
natural	100	26,81k	79,82h	74,93g	27,62k	23,17d	30,12c
	150	36,87i	137,76b	140,33b	31,73g	39,65b	54,07b
	200	45,23g	178,96a	215,85a	45,08d	54,07a	65,40a
Médias		32,45	110,27	119,36	31,74	30,83	39,45
Média Geral		59,77	81,03	86,66	34,28	16,35	21,05
DMS (%)		$6,66 \times 10^{-5}$			$1,98 \times 10^{-5}$		

4.2.1. Variação da ação dos extratores na ausência da adubação fosfatada após a colheita do painço

A análise de P dos solos após a colheita do painço com um ciclo de 40 dias, revelou nítidas alterações na ação dos extratores, conforme demonstram as médias de P extraído com os três métodos (tabela 5).

O teor de P resina que durante o período de incubação permaneceu praticamente igual ao P nativo (2,16 ppm) nos dois latossolos, aumentou cerca de sete vezes após a colheita, atingindo 15,35 ppm no LVA e 15,58 ppm no LVE.

O teor de $P_{H_2SO_4}$ que durante o período de incubação duplicou de valor no LVA e equiparou-se ao P resina no LVE, após a colheita permaneceu quase inalterado no LVA ($P_{H_2SO_4} = 4,63$ ppm), caindo para 1,03 ppm no LVE.

O teor de P Mehlich apresentou um ligeiro acréscimo no LVA, passando de 3,09 ppm, após a incubação para 5,40 ppm após a colheita; no LVE o valor de P Mehlich não sofreu alteração, permanecendo com o valor mais baixo de 1,03 ppm, após a incubação e após a colheita.

Os valores de P esperados com a extração efetuada após a colheita, no caso da testemunha deveriam ser menores do que os resultados obtidos após o período de incubação, não só em razão da baixa disponibilidade de P nos dois latossolos, mas, pe-

la remoção de P através da colheita de painço, na ausência de adubação fosfatada. Entretanto, houve uma aparente contradição entre os resultados esperados e observados; pois, os extratores químicos extraíram teores de P iguais ou ligeiramente superiores aos teores obtidos após o período de incubação, ao passo que a resina extraiu sete vezes mais, nas mesmas condições. Contudo, este grande aumento na concentração de P da solução do solo, pode ser explicado através dos esquemas propostos por GUNARY e SUTTON (1967) e por LARSEN (1974), segundo os quais as várias formas de P encontram-se em equilíbrio dinâmico, e assim, deve haver uma constante reposição do P em solução, mediante a dissolução do P lábil, a fim de manter este equilíbrio sempre que houver uma queda no teor de P da solução, decorrente de absorção pelas raízes das plantas. Como o teor de P extraído após a colheita excedeu àquele determinado após o período de incubação, verificou-se que a velocidade de dissolução do P lábil superou a velocidade de absorção através das raízes, gerando o excedente de P em solução diagnosticado através dos extratores.

4.2.2. Variação de ação extratores em presença da adubação fosfatada após a colheita

Os teores de P extraídos pelos três extratores após a colheita do painço (tabela 5) variaram notavelmente na presença das diferentes fontes de fosfatos, de forma análoga ao que ocorreu após a incubação, porém, as alterações foram muito mais acentuadas,

evidenciando a interação das componentes do sistema solo/planta/fertilizante, com o passar do tempo. As transformações de P neste sistema foram convenientemente sumarizadas por MAIAVOLTA(1981): "a adição de um adubo fosfatado (Pi adubo) aumenta temporariamente a concentração de H_2PO_4 na solução do solo (Pi solução); parte deste Pi solução é absorvida pelas raízes que libertam muito pouco do elemento enquanto vivas; microrganismos do terreno também absorvem Pi solução que então se converte em P orgânico; a mineralização da matéria orgânica causa eventualmente a liberação desse P orgânico em parte; o aumento no Pi solução pelo adubo causa um deslocamento do equilíbrio $Pi\text{ lábil} \rightleftharpoons Pi\text{ solução}$ para a esquerda; numa reação geralmente mais lenta do que essa, parte do Pi lábil, por sua vez, é convertida em Pi estável (Pi não lábil) que a planta não aproveita de forma direta".

Logicamente as transformações do P adicionado, afetaram a ação dos extratores, em função das fontes fosfatadas, conforme será visto a seguir:

a) Variações na extração de P em presença de MAP

No LVA a resina extraiu a maior média de P (86,35 ppm), superando as médias obtidas com a solução de Mehlich (74,67 ppm) e com o H_2SO_4 (70,15 ppm de P).

No LVE a capacidade média de extração da resina foi de 36,64 ppm, extraíndo mais que o triplo da capacidade média dos extratores químicos, sendo P Mehlich = 12,55 ppm e $P\ H_2SO_4 = 10,61\text{ ppm}$.

b) Variações na extração do P em presença de ST

No LVA a extração média do P Mehlich = 86,26 ppm superou as médias de P H_2SO_4 = 81,76 ppm e P resina = 71,63 ppm.

No LVE a média de P resina = 39,14 ppm, triplicou em relação ao P Mehlich = 16,15 ppm e ao P H_2SO_4 = 12,03 ppm.

c) Variações na extração de P em presença de FN

No LVA a maior média de P extraído, coube a solução de Mehlich (119,36 ppm de P), seguindo-se o H_2SO_4 com a média de 110,27 ppm e a resina somente com 32,45 ppm de P; este valor foi cerca de três vezes menos que os valores da extração química.

No LVE o P Mehlich = 39,45 ppm foi um pouco superior ao P resina = 31,74 ppm que se assemelhou ao P H_2SO_4 = 30,83 ppm.

Todos os tratamentos diferiram estatisticamente no LVA, porém, no LVE, houve efeito similar para dois tratamentos, relacionados ao P H_2SO_4 e ao P Mehlich. As diferenças de médias estão simbolizadas por letras minúsculas de a até m, colocadas ao lado dos teores médios de P extraídos por cada um dos métodos, no LVA e no LVE. As diferenças mínimas significativas (DMS) foram: $6,66 \times 10^{-5}$ no LVA e $1,98 \times 10^{-5}$ no LVE.

As análises estatísticas dos valores de P extraído após a colheita do painço encontram-se nas tabelas 6 e 7,

Tabela 6 - Análise de variância dos teores de P extraído no LVA
fase arenosa, série Paredão Vermelho

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fertilizante (FE)	12	240190,69	20015,89	21,39**
Resíduo (a)	39	36481,54	935,42	
Parcelas	51	276689,72		
Extrator. (EX)	2	26789,72	13394,86	17,72**
Interação FE x EX	24	99024,73	4126,03	5,46**
Resíduo (b)	78	58928,71	755,49	
Total	155	461415,41		

Desdobramentos:

FE den. EX ₁ (resina)	12	62361,24	5196,77	6,37**
FE den. EX ₂ (H ₂ SO ₄)	12	117237,15	9769,76	11,98**
FE den. EX ₃ (H ₂ SO ₄ +HCl)	12	159617,02	13391,41	16,31**

Coeficientes de variação: C.V. parcela = 39,41%

C.V. subparcela = 35,42%

Tabela 7 - Análise de variância dos teores de P extraídos no LVE
orto, série Guanium

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fertilizantes (FE)	12	27554,98	2396,24	33,98**
Resíduo (a)	39	2635,29	67,57	
Parcelas	51	30190,27		
Extratores (EX)	2	8657,42	4328,71	61,43**
Interação FE x EX	24	9855,38	410,64	5,82**
Resíduo (b)	78	5496,26	70,46	
Total	155	54199,35		

Desdobramentos:

FE den. EX ₁ (resina)	12	9237,44	769,78	11,07**
FE den. EX ₂ (H ₂ SO ₄)	12	9562,00	796,83	11,46**
FE den. EX ₃ (H ₂ SO ₄ +HCl)	12	18610,91	1550,90	22,31**

Coeficientes de variação: C.V. parcela = 34,16%

C.V. subparcela = 34,89%

respectivamente para o LVA e o LVE. O esquema da análise de variância foi em parcelas subdivididas, constando nas parcelas os efeitos dos fertilizantes e nas subparcelas os efeitos dos extratores. O teste F acusou diferenças altamente significativas para os efeitos de: fertilizantes, extratores e para as interações fertilizantes x extratores, nos dois solos estudados. Com o desdobramento das interações verificou-se também diferenças altamente significativas para o efeito dos fertilizantes dentro de cada extrator, nos dois latossolos. Os coeficientes de variação foram elevados ($CV > 30\%$) nas parcelas e subparcelas, tanto no LVA como no LVE, possivelmente devido ao modelo do delineamento experimental.

4.2.3. *Curvas de extração de P após a colheita*

Os teores de P extraídos pelos três extratores após a colheita foram crescentes com o aumento das doses de P, apresentando assim uma tendência linear. As figuras 4, 5 e 6, desenhadas a partir dos dados da tabela 5, representam graficamente as variações da ação dos extratores na presença de MAP, ST e FN, respectivamente. O ajustamento das curvas a equações de regressão linear, teve por finalidade a expressão matemática da variação de ação dos extratores; os coeficientes de determinação foram elevados ($r^2 \geq 95\%$) indicando que houve um efetivo aumento na extração de P pelos três processos (y), em função das doses (x) de cada uma das fontes fosfatadas aplicadas nos solos.

P extraído
(ppm)

Figura 4 - Extração de P após a colheita de *Panicum milaceum* (painço) em dois latos-
solos adubados com fosfato monoamônico (MAP), em Piracicaba-São Paulo

Figura 5 - Extração de P após a colheita de *Panicum milaceum* (painço) em dois latossolos adubados com superfosfato triplo (ST), em Piracicaba, São Paulo

4.2.4. Comparação da capacidade de recuperação do P através dos extratores após a colheita

Na comparação da eficiência dos extratores levou-se em conta a variação de ação dos extratores representada graficamente pelas curvas de extração, as equações de regressão e ainda as sequências de extração média, ordenadas como segue:

<u>Fontes de P</u>	<u>LVA fase arenosa, série Paredão Vermelho</u>	<u>LVE orto, série Guanium</u>
Po	resina > Mehlich > H_2SO_4	resina > Mehlich = H_2SO_4
MAP	resina > Mehlich > H_2SO_4	resina > Mehlich > H_2SO_4
ST	Mehlich > H_2SO_4 > resina	resina > Mehlich > H_2SO_4
FN	Mehlich > H_2SO_4 > resina	Mehlich > resina > H_2SO_4

A resina foi mais eficiente do que os métodos químicos, tanto na ausência de adubação (Po) quanto na presença das fontes solúveis, MAP e ST, nos dois latossolos exceto no caso de ST aplicado ao LVA; neste caso e também com aplicação da fonte insolúvel em água, FN, ela extraiu menos P que os métodos químicos, de maneira similar à extração realizada após o período de incubação. Algumas vantagens da resina em relação aos métodos químicos foram assinaladas por PALMA e FASSBENDER (1970): a ausência de solvente químico exclui a deterioração do solo; há possibilidade de analisar vários tipos de solo; ele reproduz com maior exatidão o mecanismo de extração do P pela raiz e elimina a adsorção secundária pelos íons fosfatos

durante a extração.

Os extratores químicos apresentaram capacidade de extração do P bastante próximas, porém a ação do H_2SO_4 foi um pouco menos enérgica do que do Mehlich nos dois latossolos. Estes dois extratores, removeram maiores teores de P do LVA que do LVE, atestando que não funcionam bem em solos argilosos (MUZILLI, 1982; RAIJ, 1983) embora sejam eficientes para solos arenosos (THOMPSON e PRATT, 1954).

4.2.5. Interpretação das variações na extração de P

De acordo com CATANI e NAKAMURA (1971) há muito se sabe que a quantidade de P extraída do solo varia: com a natureza do mesmo e da solução extratora; com a relação entre o peso do solo e do volume da solução extratora; com o tempo de contato da solução com o solo; com a técnica ou as condições da extração, incluindo: agitação, percolação, temperatura etc. Por outro lado as condições do solo são afetadas pela textura, tipo e quantidade de colóides (minerais de argila e húmus), pH do solo e presença de outros ânions capazes de competir com o íon fosfato por sítios de troca. RAIJ (1983) e GOEDERT e SOUSA (1984) mencionam também a importância das características dos fertilizantes e das plantas, para a extração do elemento, por exemplo: no fertilizante, a solubilidade e a concentração em P; na planta, a capacidade de aproveitamento do nutriente, fundamentalmente associada ao comprimento e volume

do sistema radicular e a outras características como: ciclo da cultura, capacidade de absorver Ca e de acidificar a rizosfera, infecção com micorrizas, etc.

Dados os diversos fatores que interagem no sistema solo/planta/fertilizante, influenciando o processo de extração, nesta pesquisa procurou-se introduzir uniformidade para algumas condições: solo com pH ácido, baixo teor de P, adubação NK constante, uso do painço como planta indicadora da absorção de P, técnicas de análise uniformes. Simultaneamente foram introduzidas três causas de variação: textura dos solos, solubilidade dos fosfatos e natureza dos extratores, discutidas a seguir:

a) Influência da textura dos solos

Na presente pesquisa o P foi extraído em teores mais altos no LVA (arenoso) que no LVE (argiloso).

O efeito textural sobre a extração de P dos solos já foi verificado por vários pesquisadores: PRATT e GARBER (1964), FUZATTO e CAVALERI (1966), NOVAIS (1977), FREIRE et alii (1979), OLSEN e WATANABE (1963). Sabe-se que a textura dos solos afeta a difusão de P, porque quando o teor de argila aumenta, o coeficiente de difusão aumenta devido ao decréscimo na tortuosidade dos poros, aumentando também a capacidade tampão do solo. OLSEN (1957) afirmou que os solos arenosos, com partículas grosseiras "fixam" menos P por apresentarem superfície específica menor do que os solos argilosos. Os solos do Es

tado de São Paulo apresentam elevada capacidade de adsorção e/ou "fixação" (CATANI e GLÓRIA, 1964; NAKAMURA, 1970). A adsorção pelas argilas, segundo JORGE (1983) se dá por troca com o Ca^{+2} da micela ou por substituição pelo Al dos folhetos cristalinos. A argila predominante nestes solos é caulinita, formada por um ácido fraco (silicífico) e uma base fraca (hidróxido de Al) e assim se explica o fenômeno da substituição dos silicatos pelos ânions fosfatos, na argila em decomposição. Nos solos ácidos como o LVA e o LVE as formas dominantes de P inorgânico são encontradas em ligação com Fe e Al.

O termo "fixação" foi contestado por RAIJ (1983), pois, realmente o fenômeno assim denominado, envolve dois processos: adsorção e imobilização, os quais afetam a disponibilidade de P para plantas, de maneira oposta ao fenômeno de dessorção, referente à liberação de P do solo.

CATANI e NAKAMURA (1981) consideram que durante a agitação do solo com a solução extratora ocorrem dois fenômenos simultâneos e opostos - solubilização do fosfato e refixação ou readsorção pelo solo, e admitem que estes fenômenos sejam apreciáveis nos solos paulistas.

Tais considerações justificam a diferença dos teores de P extraídos dos dois latossolos sob influência da textura, no presente trabalho.

b) Influência da solubilidade dos fosfatos

O P extraído pelos três métodos na presença das diferentes fontes fosfatadas variou nos solos estudados, também por causa da diferença de solubilidade entre os fertilizantes empregados.

Com a aplicação de fertilizantes fosfatados, ocorrem reações entre o adubo e os constituintes do solo, formando produtos amorfos e cristalinos de solubilidade menor que a do adubo aplicado. Conforme TISDALE e RUCKER (1964) a maior parte do P obtido pelas plantas é proveniente dos produtos destas reações e não diretamente do adubo.

Segundo GOEDERT e LOBATO (1980) a eficiência de um fosfato pode ser medida pela solubilidade e pela sua capacidade de aumentar o P disponível na solução do solo para as plantas. As fontes mais eficientes no Brasil têm sido os fosfatos solúveis em água, como MAP e ST. Os dois têm eficiência comparável quando aplicados em igualdade de condições (MALAVOLTA, 1981); diferem, porém, quanto à composição elementar e o efeito residual no solo.

O MAP tem fórmula química $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, de efeito acidulante no solo porque tende a baixar o pH do mesmo, devido às transformações da amônia que contém; poderá reduzir o teor de Ca^{2+} trocável, pela acidez gerada; poderá precipitar o Ca^{2+} e exercer efeito inibidor na absorção deste cátion; poderá também aumentar a disponibilidade de Zn e elevar a concentração

fosforitas) como fornecedores de P, é função da velocidade de solubilização no solo (MALAVOLTA, 1981). O fosfato natural "Alvorada" é constituído por uma apatita, mineral mais insolúvel e menos assimilável; tem fórmula $\text{CaF}_2 \cdot 3\text{CO}_3 (\text{PO}_4)_2$ que reage lentamente no solo, devido a existência de F na sua molécula. A reação de uma fluorapatita, segundo MALAVOLTA (1981) pode ser simplificada da seguinte maneira:

Quanto menor o tamanho das partículas de FN e o conteúdo de F, geralmente maior a disponibilidade de P.

Pelas afirmações de RAIJ (1979), a dissolução de FN é favorecida por acidez elevada, altos teores de argila e matéria orgânica, baixos teores de Ca^{2+} trocável e por incorporação dos fosfatos em todo o volume do solo.

Com base nestas premissas, seria esperada uma maior dissolução do FN no LVE (argiloso) e conseqüentemente teores de P extraído mais elevados do que no LVA (arenoso); isto não se verificou, provavelmente porque o período de condução do experimento terminou antes que a dissolução do FN houvesse se completado nos solos. É possível também que o P solubilizado tenha sido fixado pela argila.

c) Natureza dos extratores

A resina mostrou-se bastante eficiente na extração de P dos dois latossolos, em presença das fontes solúveis MAP e ST, porém, extraiu muito menos P, quando a fonte empregada

da foi FN. Já os extratores químicos foram eficientes na extração de P do solo arenoso e menos eficientes na extração de P do argiloso, quando as fontes solúveis foram empregadas; na presença de FN os métodos químicos superestimaram os valores de P em comparação com a resina; todas estas alterações foram decorrentes da diferente natureza dos extratores, agindo em conjunto com as outras variáveis, textura do solo e solubilidade dos adubos.

O H_2SO_4 e a solução de Mehlich, devido ao caráter ácido ($pH = 2$ a 3) têm sua ação solvente definida pela atividade do íon H^+ que torna possível a solubilização de fosfatos de Ca e em menor escala a dos fosfatos de Al e Fe (THOMAS e PEASLEE, 1973).

A resina de troca iônica, como o próprio nome indica, tem sua ação definida por troca de íons em meio aquoso, com baixa concentração salina e pH de equilíbrio em torno de 6,5 a 7; o extrato é constituído pela solução solo-resina, obtido por saturação com solução de $NaHCO_3$ 1N, a pH 8,5 (RAIJ e QUAGGIO, 1983). Esta solução tamponada é bastante eficiente na extração de P-Al e algumas vezes P-Fe (TYNER e DAVIDE, 1962).

Neste trabalho a extração de P através da resina seguiu a metodologia usada pelo IAC e pela ESALQ, os quais adotam uma resina trocadora de ânions tipo base forte, denominada Amberlite IRA-400.

Considerando que os métodos químicos atuam como

ácidos fortes e a resina como base forte, justifica-se as diferenças ocorridas nos teores de P extraídos por estes processos.

4.3. Resposta biológica de *Panicum miliaceum* (painço) às doses e fontes de P adicionado a dois latossolos de Piracicaba, São Paulo

A tabela 8 mostra os parâmetros de avaliação da resposta biológica do painço à adição das três fontes fosfatadas, MAP, ST e FN em doses crescentes de 0-50-100-150 e 200ppm de P nos latossolos LVA e LVE; estes parâmetros exprimem a absorção e acumulação de P na parte aérea e a produção de matéria seca da planta indicadora.

4.3.1. Absorção de P na parte aérea do painço

Na ausência de adubação fosfatada a percentagem mínima das médias de P absorvido pela parte aérea do painço foi de 0,1% no caso das plantas cultivadas no LVA e 0,07% no LVE.

Na presença das fontes fosfatadas houve um notável aumento nas percentagens médias de absorção das plantas a partir dos dois solos. As plantas cultivadas no LVA apresentaram média de P absorvido = 0,56% como MAP; 0,48% como ST e 0,15% como FN; as plantas cultivadas no LVE em termos de percentagem

Tabela 8 - Valores médios de fósforo absorvido, fósforo acumulado e matéria seca produzida por Panicum miliaceum (painço) em função das três fontes de fosfato adicionadas a dois latossolos de Piracicaba, São Paulo

Fontes de P	Doses de P (ppm)	LVA fase arenosa série Paredão Vermelho			LVE orto série Guamium		
		P absorvido (%)	P acumulado (mg/vaso)	Matéria seca (g/vaso)	P absorvido (%)	P acumulado (mg/vaso)	Matéria seca (g/vaso)
Testemunha	0	0,10	1,99	2,00	0,07	0,49	0,76
Fosfato	50	0,28	38,34	13,33	0,11	9,57	8,77
Monoamônico	100	0,52	69,24	13,21	0,14	22,23	15,17
	150	0,67	91,77	13,52	0,17	28,47	16,22
	200	0,77	117,27	15,24	0,20	37,25	18,34
Médias		0,56	79,15	13,82	0,15	24,38	16,62
Superfosfato triplo	50	0,33	46,81	14,23	0,13	16,45	12,70
	100	0,45	66,01	14,39	0,17	24,79	14,59
	150	0,54	84,48	15,40	0,18	29,64	16,70
	200	0,63	95,77	15,04	0,19	35,71	18,87
Médias		0,48	73,26	14,76	0,16	26,64	15,71
Fosfato natural	50	0,14	18,85	12,83	0,14	12,76	9,14
	100	0,15	17,42	11,30	0,14	17,76	12,97
	150	0,18	23,70	13,05	0,19	22,39	11,96
	200	0,16	21,42	13,44	0,17	16,86	10,27
Médias		0,15	20,34	12,65	0,16	17,44	11,08

média absorveram 0,15% como MAP, 0,16% como ST e como FN.

As percentagens médias de absorção do P foram crescentes à medida que aumentaram as doses de P aplicado aos dois latossolos e por isso as curvas de absorção (Figura 7) foram ajustadas a equações lineares, uma para cada fonte de fosfato aplicado nos dois latossolos. Todos os coeficientes de determinação (r^2) foram elevados, variando entre 92,05% e 99,93%.

As fontes solúveis MAP e ST propiciaram maiores percentagens de absorção na parte aérea das plantas cultivadas no LVA, sendo as menores percentagens de absorção relacionados ao FN. A absorção das plantas cultivadas no LVE foi inferior a alcançada pelas plantas do LVA, equiparando-se apenas em relação a fonte FN. Isto se deve à maior retenção de fosfatos pelo LVE e a baixa solubilidade do FN.

4.3.2. Acumulação de P na parte aérea do painço

Na ausência de adubação fosfatada, a capacidade média de acumulação do P na parte aérea do painço cultivado no LVA, foi da ordem de 1,99 mg por vaso, contendo 20 plantas, ou seja, 0,1 mg/planta; já as plantas cultivadas no LVE acumularam em média 0,49 mg/vaso que corresponde a 0,02 mg/planta; portanto, cada planta no LVA acumulou cerca de quatro vezes mais P do que uma outra cultivada no LVE; devido à textura argilosa possivelmente este solo tende a uma alta retenção de nu

P absorvido
(mg/vaso)

Figura 7 - Absorção de P por *Panicum miliaceum* (painço) colhido aos 40 dias após a emergência, em dois latossolos de Piracicaba, São Paulo

Figura 8 - Acumulação de P na parte aérea de *Panicum miliaceum* (pauco) colhido aos 40 dias após a emergência, em dois latossolos de Piracicaba, São Paulo

trientes, dificultando a absorção pelas raízes e reduzindo a acumulação do P na parte aérea.

Na presença das fontes fosfatadas, a acumulação de P pelo painço cresceu linearmente com o aumento das doses de P, conforme demonstram as curvas de acumulação da figura 8; de maneira análoga às curvas de absorção, as de acumulação foram ajustadas a equações lineares e todos os coeficientes de determinação foram muito elevados ($r^2 > 99\%$) sugerindo que realmente a capacidade da planta para acumular fósforo nas folhas foi proporcional aos teores adicionados ao solo.

A acumulação de P na parte aérea do painço variou em relação às diferentes fontes fosfatadas, nos dois latossolos. Em termos médios as plantas cultivadas no LVA acumularam 79,15 mg/vaso, quando a fonte fosfatada foi o MAP; 73,26 mg/vaso com aplicação de ST e apenas 20,34 mg/vaso com a adição de FN; as plantas desenvolvidas no LVE demonstraram menor capacidade acumuladora de P, com o uso das três fontes; então, a média de P acumulado em presença de MAP foi de 24,38 mg/vaso; em presença de ST atingiu uma média de 26,64 mg/vaso e com adição de FN, somente 17,44 mg/vaso. As principais causas da variação de P acumulado na parte aérea do painço, foram a textura dos solos e a solubilidade dos fosfatos.

4.3.3. *Produção de matéria seca*

A matéria seca produzida pela parte aérea do painço, na ausência de adubação fosfatada, foi da ordem de 2g/

vaso com 20 plantas, ou seja, 100 mg/planta cultivada no LVA; no LVE a produção média de matéria seca foi apenas 0,76 g/vaso, correspondendo a 38 mg/planta, isto isgnifica que uma planta cultivada no LVA produziu quase o triplo de uma planta crescida no LVE, devido provavelmente ao efeito textural, dificultando a nutrição da planta, gerando em consequência uma menor produção de matéria seca pelo painço.

Na presença da adubação fosfatada as médias de matéria seca produzidas pelas plantas, variaram de maneiras diferentes nos dois solos. No LVA a média de matéria seca em presença de MAP foi 13,82 g/vaso, passando a 14,76 g/vaso com adição de ST e caindo a 12,65 com o uso de FN; estas médias representam acréscimos de produção da ordem de 6 e 7 vezes em relação a testemunha, devido a aplicação dos fertilizantes ao LVA, sendo o menor acréscimo correspondente a aplicação de FN. No LVE a matéria seca produzida pelo painço foi em média de 16,62 g/vaso na presença de MAP, 15,71 g/vaso com adição de ST e 11,08 g/vaso com o uso de FN; isto significa que o uso de fertilizantes favoreceu a produção vegetal com acréscimos de matéria seca que variaram de 14 a 22 vezes mais que a produção obtida com a testemunha.

Pelas curvas de produção de matéria seca (Figura 9) nota-se que as produções alcançadas em presença das fontes solúveis MAP e ST apresentaram tendência de estabilização a partir das aplicações de 100 ppm no LVE, enquanto no LVA a tendência de estabilização da produção ocorreu a partir da aplicação

Figura 9 - Produção de matéria seca (MS) por *Panicum miliaceum* (painço) colhido aos 40 dias após a emergência, em dois latossolos de Piracicaba, São Paulo

de 50 ppm de P. As curvas de produção ajustaram-se a equações lineares e os coeficientes de determinação foram altíssimos ($r^2 > 99\%$), refletindo o aumento de produção de matéria seca, induzido pela adubação fosfatada.

O efeito das doses e fontes de fosfatos sobre o desenvolvimento do painço encontra-se ilustrado nas Figuras 10, 11, 12 e 13, respectivamente, para as doses de 50, 100, 150 e 200 ppm de P, adicionados aos dois latossolos, evidenciando a superioridade dos tratamentos que receberam adubação com P. (Ver apêndice).

4.4. Correlação entre os teores de P extraídos, e os parâmetros de avaliação de *Panicum miliaceum* (painço), colhido aos 40 dias após a emergência das plantas

Nas tabelas 9, 10 e 11 encontram-se as correlações do P extraído através da resina, do H_2SO_4 e da solução de Mehlich, com os parâmetros da parte aérea do painço: P absorvido, P acumulado e produção de matéria seca, no LVA e no LVE.

Na presença de MAP (tabela 9) as correlações dos extratores com os parâmetros da planta indicadora foram muito elevadas ($r \cong \pm 0,90$) nos dois latossolos; a única exceção se refere ao par de variáveis $P-H_2SO_4$ vs. P acumulado no LVE com $r = 0,62$ (não significativo); as correlações entre os outros pares de variáveis foi significativa pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 9 - Correlação entre o P extraído por três extratores e os parâmetros de Panicum miliaceum (painço) cultivado em dois latossolos, com adição de fosfato monoamônico (MAP) em Piracicaba, São Paulo.

Pares de variáveis	Equações de regressão	Coef. corre- lação(r)	F
<u>LVA fase arenosa, série Paredão Vermelho</u>			
P-resina vs. P absorvido	$\sqrt{y} = 0,38 + 0,26 \ln x$	0,99	220,80*
P-resina vs. P acumulado	$\ln y = 5,31 - 69,18.1/x$	-0,99	200,25*
P-resina vs. Mat.seca	$y = 18,84 - 213,89.1/x$	-0,95	30,77*
P-H ₂ SO ₄ vs. P absorvido	$\ln y = -3,29 + 0,65 \ln x$	0,99	2059,01*
P-H ₂ SO ₄ vs. P acumulado	$\sqrt{y} = -2,98 + 2,86 \ln x$	0,99	1247,69*
P-H ₂ SO ₄ vs. P Mat.seca	$\ln y = 2,81 - 9,69.1/x$	-0,99	190,15*
P Mehlich vs. P absorvido	$\ln y = -3,43 + 0,67 \ln x$	0,99	2538,62*
P Mehlich vs. P acumulado	$\sqrt{y} = -3,56 + 2,95 \ln x$	0,99	904,06*
P Mehlich vs. P Mat. seca	$\ln y = 2,83 - 11,37.1/x$	-0,99	168,22*
<u>LVE orto, série Guamium</u>			
P-resina vs. P absorvido	$1/y = -2,34 + 245,20.1/x$	0,90	12,94*
P-resina vs. P acumulado	$y = 48,73 - 755,42.1/x$	-0,98	136,78*
P-resina vs. Mat.seca	$y = 25,59 - 356,56.1/x$	-0,96	34,01*
P-H ₂ SO ₄ vs. P absorvido	$\ln x = -2,65 + 0,35 \ln x$	0,99	346,62*
P-H ₂ SO ₄ vs. P acumulado	$y^2 = 536,69 + 1610,86.1/x$	0,69	2,72ns
P-H ₂ SO ₄ vs. Mat.seca	$y = 6,37 + 66,11.1/x$	0,92	15,98*
P Mehlich vs. P absorvido	$\ln y = -2,65 + 0,33 \ln x$	0,99	289,07*
P Mehlich vs. P acumulado	$\ln y = 3,67 - 4,54.1/x$	-0,99	1069,89*
P Mehlich vs. Mat.seca	$y = 17,13 - 17,71.1/x$	-0,96	40,22

Tabela 10 - Correlação entre P extraído por três extratores e os parâmetros de Panicum miliaceum (painço) cultivado em dois latossolos, com adição de superfosfato triplo (ST) em Piracicaba, São Paulo

Pares de variáveis	Equações de regressão	Coef. correlação (r)	F
<u>LVA fase arenosa, série Paredão Vermelho</u>			
P-resina vs. P absorvido	$1/y = -0,19 + 153,30.1/x$	0,99	166,08*
P-resina vs. P acumulado	$1/y = -0,11 + 8,98.1/x$	0,96	37,17*
P-resina vs. Mat.seca	$y^2 = 282,28 - 4168,40.1/x$	-0,98	103,35*
P-H ₂ SO ₄ vs. P absorvido	$1/y = 1,46 + 39,62.1/x$	0,99	2775,30*
P-H ₂ SO ₄ vs. P acumulado	$1/y = -0,01 + 2,37.1/x$	0,99	149,59*
P-H ₂ SO ₄ vs. Mat. seca	$y = 15,88 - 63,94.1/x$	-0,99	611,21*
P Mehlich vs. P absorvido	$1/y = 1,43 + 46,38.1/x$	0,99	2557,84*
P Mehlich vs. P acumulado	$1/y = -0,02 + 2,77.1/x$	0,98	130,85*
P Mehlich vs. Mat. seca	$y = 15,94 - 74,82.1/x$	-0,99	499,65*
<u>LVE orto, série Guamium</u>			
P-resina vs. P absorvido	$y^2 = 0,05 - 0,65.1/x$	-0,99	358,31*
P-resina vs. P. acumulado	$y^2 = 382,5 + 28,94.x$	0,99	103,66*
P-resina vs. Mat. seca	$y^2 = 443,43 - 6643,21.1/x$	-0,97	45,49*
P-H ₂ SO ₄ vs. P absorvido	$1/y = 4,78 + 9,87.1/x$	0,99	4173,96*
P-H ₂ SO ₄ vs. P acumulado	$y = 1,35 + 11,06.Lnx$	0,99	309,95*
P-H ₂ SO ₄ vs. Mat.seca	$y = 4,43 - 3,62.1/x$	-0,99	280,04*
P Mehlich vs. P absorvido	$1/y = 5,11 + 9,52.1/x$	0,99	822,00*
P Mehlich vs. P acumulado	$Ln y = 3,69 - 452.1/x$	-0,99	1266,78*
P Mehlich vs. Mat. seca	$\sqrt{y} = 4,31 - 354.1/x$	-0,99	429,23*

Tabela 11 - Correlação entre o P extraído por três extratores e os parâmetros de Panicum miliaceum (painço) cultivado em dois latossolos, com adição de fosfato natural "Alvorada" (FN), em Piracicaba, São Paulo

Pares de variáveis		Equações de regressão		Coef. correlação (r)	F
<u>LVA fase arenosa, série Paredão Vermelho</u>					
P-resina	vs. P absorvido	$\text{Lny} = -1,463 - 12,02 \cdot 1/x$	-0,93	20,702*	
P-resina	vs. P acumulado	$y^2 = 781,120 - 11137,1/x$	-0,91	14,395*	
P-resina	vs. Mat.seca	$y^2 = 274,581 - 3637,42 \cdot 1/x$	-0,86	8,765ns	
P-H ₂ SO ₄	vs. P absorvido	$1/y = 11,659 - 1,14 \ln x$	-0,98	62,702*	
P-H ₂ SO ₄	vs. P acumulado	$1/y = 0,024 + 2,21 \cdot 1/x$	0,99	862,921*	
P-H ₂ SO ₄	vs. Mat. seca	$1/y = 0,055 + 2,05 \cdot 1/x$	0,99	598,183*	
P Mehlich	vs. P absorvido	$1/y = 11,761 - 1,15 \cdot \text{Ln} x$	-0,96	41,148*	
P Mehlich	vs. P acumulado	$1/y = 0,019 + 2,60 \cdot 1/x$	0,99	639,969*	
P Mehlich	vs. Mat. seca	$1/y = 0,057 + 2,41 \cdot 1/x$	0,99	478,864*	
<u>LVE orto, série Guamium</u>					
P-resina	vs. P absorvido	$y = 0,246 - 2,63 \cdot 1/x$	-0,92	15,876*	
P-resina	vs. P acumulado	$\sqrt{y} = 7,067 - 90,75 \cdot 1/x$	-0,90	12,846*	
P-resina	vs. Mat. seca	$\text{Lny} = 4,478 - 65,89 \cdot 1/x$	-0,87	9,330ns	
P-H ₂ SO ₄	vs. P absorvido	$1/y = 5,826 + 8,721 \cdot 1/x$	0,99	102,190*	
P-H ₂ SO ₄	vs. P acumulado	$\text{Lny} = 3,072 - 3,89 \cdot 1/x$	-0,99	547,229*	
P-H ₂ SO ₄	vs. Mat. seca	$\text{Lny} = 2,569 - 2,91 \cdot 1/x$	-0,99	292,999*	
P Mehlich	vs. P absorvido	$1/y = 5,944 + 8,62 \cdot 1/x$	0,98	96,231*	
P Mehlich	vs. P acumulado	$\text{Lny} = 3,020 - 3,85 \cdot 1/x$	-0,99	690,312*	
P Mehlich	vs. Mat. seca	$\text{Lny} = 2,531 - 2,88 \cdot 1/x$	-0,99	408,512*	

Na presença de ST (tabela 10) todas as correlações foram significativas com altos coeficientes de correlação $r > \pm 0,95$, no LVA e no LVE.

Na presença de FN (tabela 11) todos os pares de variáveis apresentaram altos coeficientes de correlação, com r variando de $\pm 0,85$ a $\pm 0,99$ no LVA e no LVE, porém o teste F revelou que a correlação de P resina vs. matéria seca não foi significativo a 5% de probabilidade em ambos os solos.

Segundo KAMPRATH e WATSON (1980) as correlações próximas de 1,0 significam que a análise de planta fornece uma boa estimativa de P no solo; alerta ele para o fato de que algumas vezes a concentração do nutriente na planta pode ser mascarada e não indicar uma informação precisa a respeito do estado nutricional nem do solo e nem da planta.

De acordo com os altos coeficientes de correlação desta pesquisa os parâmetros da planta revelaram-se como bons indicadores de P nos dois latossolos, porém a relação entre o peso de matéria seca e o P extraído pela resina não foi significativo, em presença de FN nem no LVA, nem no LVE, sugerindo falta de afinidade entre a resina e a matéria seca.

Ao correlacionar o P extraído pelos três extratores com a resposta biológica do painço, levando em conta as fontes fosfatadas separadamente, todas as correlações foram elevadas, sugerindo que os extratores são bastante eficientes e capazes de predizer a disponibilidade de P nos solos. No en

tanto, as variações nos teores de P extraído, demonstram haver diferenças de comportamento entre os métodos: os extratores químicos seguiram tendências semelhantes entre si com ligeira superioridade da solução de Mehlich em relação ao H_2SO_4 nos solos estudados. Ambos mostraram certa similaridade na seletividade de dissolução do P de algumas partículas do solo, pela natureza ácida que os caracteriza. A resina extraiu o P de modo proporcional à capacidade de liberação deste nutriente, a partir das propriedades dos solos e não por sua própria natureza (AMER et alii, 1955).

4.5. Regressões lineares baseadas na reunião das fontes fosfatadas

Através de análises de regressão linear, considerando as fontes fosfatadas em conjunto, foi possível visualizar a diferença de comportamento dos extratores sob pontos de vista matemático e estatístico, conforme mostrado na Tabela 12.

Reuniu-se em um único grupo de variáveis o P extraído em presença das três fontes fosfatadas, verificando-se que as correlações do P extraído através dos métodos químicos em relação aos parâmetros da planta indicadora, não foram significativas pelo teste F a 5% de probabilidade e os coeficientes de determinação foram muito baixos ($r^2 \leq 33\%$).

A relação de P resina vs. matéria seca também

Tabela 12 - Regressões associando os parâmetros do painço (y) com o P extraído pelos três extratores (x); coeficientes de determinação (r^2) e valores de F em dois latossolos de Piracicaba, São Paulo

Variáveis dependentes y (unidades)	Variáveis independentes x (ppm)	Equações de regressão	r^2	F
LVA fase arenosa, série Paredão Vermelho				
P absorvido (%)	P-resina	$y = 0,03 + 0,006x$	0,88	84,35*
P absorvido (%)	P-H ₂ SO ₄	$y = 0,13 + 0,001x$	0,32	5,08
P absorvido (%)	P Mehlich	$y = 0,31 + 0,001x$	0,03	0,41
P acumulado (mg/vaso)	P-resina	$y = \pm 1,87 + 0,923x$	0,88	80,79*
P acumulado (mg/vaso)	P-H ₂ SO ₄	$y = 37,24 + 0,198x$	0,07	0,94
P acumulado (mg/vaso)	P Mehlich	$y = 40,23 + 0,151x$	0,06	0,66
Matéria seca (g/vaso)	P-resina	$y = 9,823 + 0,050x$	0,29	4,63
Matéria seca (g/vaso)	P-H ₂ SO ₄	$y = 10,265 + 0,032x$	0,23	3,28
Matéria seca (g/vaso)	P Mehlich	$y = 10,457 + 0,027x$	0,21	2,96
LVE orto, série Guamium				
P absorvido (%)	P-resina	$y = 0,076 + 0,002x$	0,72	29,06*
P absorvido (%)	P-H ₂ SO ₄	$y = 0,13 + 0,001x$	0,32	5,08
P absorvido (%)	P Mehlich	$y = 0,13 + 0,001x$	0,33	5,53
P acumulado (mg/vaso)	P-resina	$y = -1,44 + 0,658x$	0,77	37,13*
P acumulado (mg/vaso)	P-H ₂ SO ₄	$y = 18,25 + 0,173x$	0,06	0,78
P acumulado (mg/vaso)	P Mehlich	$y = 18,10 + 0,142x$	0,07	0,86
Matéria seca (g/vaso)	P-resina	$y = 3,68 + 0,27x$	0,57	14,86
Matéria seca (g/vaso)	P-H ₂ SO ₄	$y = 11,91 + 0,054x$	0,03	0,33
Matéria seca (g/vaso)	P Mehlich	$y = 11,85 + 0,045x$	0,03	0,38

não foi significativa, sugerindo ausência de associação entre a resina e a produção de matéria seca. CABALA e SANTANA (1972) também constataram ausência de associação entre variáveis, ao correlacionarem a extração de P por métodos químicos com a massa seca das raízes de cacau.

No entanto, ainda na tabela 12, observou-se que as correlações de P resina com o P absorvido e o P acumulado na parte aérea do painço foram significativas, apresentando altos coeficientes de determinação no LVA ($r^2 = 88\%$ para P absorvido = P acumulado) e coeficientes médios no LVE ($r^2 = 72\%$ para P absorvido e $r^2 = 77\%$ para P acumulado). Portanto, a resina correlacionou melhor com a absorção do fósforo pela painço, de modo análogo ao observado com diversas culturas: batata (PAAUW, 1971); cevada (SUSUKI et alii, 1963); milho (WALMSLEY e CONFORTH, 1973); milheto (AL-ABBAS e BARBER, 1964); soja (RAIJ e DIEST, 1980); sorgo (FERREIRA e MAGALHÃES, 1974); tomate (BALERDI et alii, 1968). A resina também foi eficiente na extração de P sob diferentes condições de solos, tratados com fosfatos naturais e fontes solúveis (CABALA e WILD, 1982). O P extraído pela resina ofereceu maiores correlações com a resposta biológica, por envolver os parâmetros intensidade e capacidade conforme assinalado por GUNARY e SUTTON (1967).

Uma das consequências da variação de eficiência da ação dos extratores é que as faixas de disponibilidade de P devem variar de acordo com a natureza de cada extrator e, então, a quantidade de fósforo a ser recomendada para um dado so

lo, poderá divergir conforme o método de extração adotado.

Por outro lado, considerando solos de texturas diferentes tendo inicialmente um nível baixo de disponibilidade de P como o LVA e o LVE, para se elevar o nível final do elemento a iguais condições de disponibilidade nestes solos, a quantidade de P requerida será maior para o solo argiloso (FREIRE et alii, 1979) do que para o arenoso.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos dentro das condições experimentais expostas, foram possíveis as seguintes inferências.

A adição das diferentes fontes fosfatadas induziu substanciais aumentos nos teores de P extraído pelos três extratores, na absorção e acumulação de P na parte aérea do painço bem como na produção de matéria seca pelas plantas, não sendo atingidos os valores máximos com as doses de P aplicadas aos dois solos.

Os aumentos verificados pela extração do P dos solos e a resposta biológica da planta indicadora, foram crescentes com a elevação das doses de P adicionados, permitindo o ajustamento das curvas de extração e absorção a equações de regressão linear simples, com elevados coeficientes de correlação ($r > \pm 0,95$).

O P absorvido e o P acumulado na parte aérea foram os melhores índices da resposta biológica do painço a adição dos fertilizantes fosfatados, já que as correlações com P extraído foram sempre significativas.

A produção de matéria seca não foi considerada um bom índice da disponibilidade de P nos solos, visto que sua correlação com o P extraído pela resina trocadora de íons não foi significativa.

A interação dos extratores com as fontes fosfatadas em relação à planta indicadora, atuando no sistema solo/planta/fertilizante, mostrou que tanto a resina como o ácido sulfúrico e a solução de Mehlich, foram eficientes para prever a disponibilidade de P no solo, após o período de incubação com fosfatos e após a colheita do painço.

Porém, houve nítida variação nos teores de P extraído pelos três extratores, a partir dos dois latossolos, tanto na ausência como na presença dos fertilizantes fosfatados, sendo as variações mais acentuadas após a colheita do que após o período de incubação. Isto reflete a influência das causas da variação introduzidas experimentalmente: textura dos solos, so-

lubilidade dos fertilizantes e natureza dos extratores.

A extração de P em termos médios nos dois latossolos foi ordenada nas seguintes sequências: para o LVA, Mehlich > H_2SO_4 > resina; para o LVE, resina > Mehlich > H_2SO_4 .

Os extratores químicos funcionaram de maneira eficiente na remoção de P do LVA arenoso, sendo menor a sua eficiência no LVE argiloso, enquanto a resina apresentou comportamento eficiente em ambos os solos, independentemente da textura, sendo portanto mais versátil que os métodos químicos.

Na presença de fontes de fosfatos solúveis, MAP e ST a ação dos extratores apresentou eficiência aproximadamente equivalente na remoção de P do LVA e também do LVE; porém, com o uso da fonte insolúvel FN os extratores químicos superestimaram os valores de P extraído, de modo que sua extração média foi muito mais elevada que a da resina, denotando que o mecanismo de ação dos extratores ácidos, devido a sua natureza química, difere fundamentalmente do mecanismo de ação da resina, que é de natureza físico-química. O mecanismo da resina assemelha-se mais ao mecanismo de remoção do P através das raízes das plantas.

A análise de regressão baseada nas médias de extração, consideradas em conjunto as fontes fosfatadas, sem distinção quanto a sua solubilidade, confirmou a diferença do comportamento dos extratores; as correlações entre a resina e os parâmetros de absorção e acumulação de P foram altas no LVA e médias no LVE; as correlações entre os métodos químicos e os pa-

râmetros do painço não foram significativas nos dois latossolos.

A resina trocadora de íons foi mais eficiente que os extratores químicos porque correlacionou melhor com a resposta biológica do painço a diferentes níveis de disponibilidade de P em solos de condições físicas distintas. Seu uso é vantajoso porque ao remover a fração lábil de P inorgânico dos solos ela é capaz de predizer com maior exatidão a absorção de P pelas raízes das plantas, sob condições de solos bastante distintas; e também constitui um valioso auxílio para as recomendações de fertilizantes fosfatados.

6. LITERATURA CITADA

AL-ABBAS, A.H. e S.A. BARBER, 1964. A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus. II. Development of the soil test. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28:221-224.

ALMEIDA NETO, J.X. de e M.O.C. BRASIL SOBRINHO, 1977. Fixação de fósforo em três solos sob Cerrado de Goiás. Campinas, Rev. Bras. Ci. Solo, 1(1):12-15.

AMER, F.; D.R. BOULDIN; C.A. BLACK e F.R. DUKE, 1955. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption and ^{32}P - equilibration. Pl. Soil., 4:391-408.

BAHIA FILHO, A.F.C.; C.A. VASCONCELLOS; H.L. SANTOS; J.F. MENDES; G.V.E., PITTA e A.C. OLIVEIRA, 1982. Formas de fósforo inorgânico e fósforo disponível em um Latossolo Vermelho Escuro, fertilizado com diferentes fosfatos. Rev. Bras. Ci. Solo, 6(2): 99-104.

- BAKER, D.E. e J.K. HALL, 1967. Measurement of phosphorus availability in acid soils of Pennsylvania. Soil Sci. Amer. Proc., 31:662-667.
- BALERDI, F.; L. MULLER e H.W. FASSBENDER, 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central. III. Comparación de cinco métodos químicos de análisis de fósforo disponible. Turrialba, 18:348-360.
- BARBER, S.A., 1979. Growth requirements for nutrientes in relation to demand of the root surface. In: HARLEY, J.L. e S.R. RUSSEL, eds. The soil-root interface. London, Academic Press, p.5-20.
- BARROW, N.J. e T.C. SHAW, 1977. Factors affecting the amount of phosphate extracted from soil by anion exchange resin. Geoderma, 18:309-323.
- BECKETT, P.H.T. e R.E. WHITE, 1964. Studies on the phosphate potentials of soils. III. The pool of labile inorganic phosphates. Plant Soil, 21:253-282.
- BLANCHAR, R.W. e A.C. CALDWELL, 1964. Phosphorus uptake by plants and readily extractable phosphorus in soils. Agron. J., 56:218-221.
- BORNEMIZA, E. e K. IGUE, 1967. Comparison of three methods for organic phosphorus in Costa Rican Soils. Soil Science, 103:347-353.

- BRADY, N.C., 1983. Suprimento e assimilabilidade do fósforo e do potássio. In: BRADY, N.C. 1983. Natureza e Propriedades dos Solos. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, p. 476-492. (Trad. de Antonio B. Neiva Figueiredo Filho, 6^a ed.).
- BRAY, R.H., 1948. Correlation of soil tests with crop response to added fertilizers and with fertilizer requirement. In: H.B. KITCHEN (ed.) Diagnostic techniques for soils and crops. Am. Potash Institute, Washington, D.C., p.53-86.
- BRAY, R. e L.T. KURTZ, 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science, 59:39-45.
- CABALA, R.P., 1979. Reaction of rock phosphates in some Brazilian soils and their utilization by plants. Tese de Doutorado. Reading, England, University of Reading, 313p.
- CABALA, R.P. e M.B.M. SANTANA, 1972. Comparação de extratores químicos de fósforo em solos do Sul da Bahia. Turrialba, 22:19-26.
- CABALA, R.P. e M.B.M. SANTANA, 1983. Disponibilidade e diagnose de fósforo pela análise química do solo com referência ao Brasil. Campinas, Rev. Bras. Ci. Solo, 7(2):109-118.

- CABALA, R.P. e A. WILD, 1982. Direct use of low grade phosphate rock from Brazil as fertilizer. I. Effect of reaction time in soil. Pl. Soil, 65:351-362.
- CABALA, R.P.; M.B.M. SANTANA e C.J.L. de SANTANA, 1982. A adubação fosfatada na Região Nordeste. In: OLIVEIRA, A.J. de; S. LOURENÇO e W.J. GOEDERT, eds. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília; EMBRAPA/DID, p.241-296.
- CATANI, R.A. e H. GARGANTINI, 1954. Extração do fósforo do solo pelo método Neubauer e por métodos químicos. Bragantia, 13:55-62.
- CATANI, R.A. e P.N. NAKAMURA, 1971. Extração do fósforo nativo e do adicionado ao solo com várias soluções. In: Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, v. XXVIII, p.297-312.
- CATANI, R.A.; A.C. NASCIMENTO e J.R. GALO, 1957. Formas de ocorrência do fósforo nos solos do Estado de São Paulo. Rev. de Agric., 32:147-163.
- CATE, R. e L.A. NELSON, 1965. A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. North Carolina State University and International Soil Testing, 13p. (Boletim Técnico, 1).
- CHANG, S.C. e M.L. JACKSON, 1957. Fractionation of soil phosphorus. Soil Science, 84(1):133-144.

- JUO, 1963. Available phosphorus in relation to forms of phosphates in soils. Soil Science, 95(2):91-96.
- COOKE, I.J. e J. HISLOP, 1963. Use of anion-exchange resin for the assessment of available soil phosphate. Soil Science, 96:308-312.
- CRISANTO, T. e C.D. SUTTON, 1973. Measurement of available phosphate content of some spanish soils. Plant Soil, 39:399-412.
- DAUGHTREY, Z.W.; J.W. GILLIAM e E.J. KAMPRATH, 1973. Soil test parameters for assessing plant-available P of acid organic soils. Soil Sci., 115:438-446.
- DELAZARI, P.C.; J.M.BRAGA; R.F. NOVAIS e J.T.L. THIEBAUT, 1980. Disponibilidade de fósforo em solos do Estado de Espírito Santo. Campinas, Rev. Bras. Ci. Solo, 4(3):149-153.
- DELAZARI, P.C.; J.M. BRAGA e R.F. NOVAIS, 1983. Parâmetros de fósforo em função de características químicas e físicas de solos. Rev. Bras. Ci. Solo, 7(1):55-60.
- DIEST, A. Van, 1963. Soil test correlation studies on New Jersey soils: I. Comparison of seven methods for measuring labile inorganic soil phosphorus. Soil Sci, 96:261-266.

- DIEST, A. Van; H.W. JESPERSEN; R.F. WHITE e C.A. BLACK, 1960.
Test of two methods for measuring a labile fraction of inorganic phosphorus in soils. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 24:498-502.
- DYER, B., 1894. On the analytical determination of probable available mineral plant food in soils. Trans. Chem. Soc. 65:115-167.
- EKPEDE, D.M. 1976. Evaluation of chemical method for the determination of available phosphorus in water-logged soils. Soil Sci, 121:217-221.
- ENWEZOR, W.O., 1977. Soil testing of phosphorus in some nigerian soils: 1. Comparison of method of determining available phosphorus in soil of southwestern Nigeria. Soil Sci., 23:48-53.
- FEITOSA, C.T. e R.V. RAIJ, 1976. Influência da natureza de fosfatos aplicados a dois solos no fósforo solúvel em extratores químicos e disponível para milho e trigo. In: DÉCIMO QUINTO CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Anais. Campinas, SBCS, p:215-220.
- FERREIRA, N.C.M. e A.F. MAGALHÃES, 1974. Adsorção de fósforo em solos do Rio Grande do Sul e sua relação com a disponibilidade para as plantas. In: DÉCIMO QUARTO CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Anais. Santa Maria, SBCS, p.548 (Resumo).

- FREIRE, F.M.; R.F. NOVAIS; J.M. BRAGA; G.E. FRANÇA; H. L. SANTOS e P.R.R.S. SANTOS, 1979. Adubação fosfatada para a cultura da soja (Glycine max (L.) Merrill) baseada no fósforo "disponível" em diferentes extratores químicos e no "fator capacidade". Rev. Bras. Ci. Solo, 3(2):105-111.
- FITTS, J.W. e W.L. NELSON, 1956. The determination of lime and fertilizer requirements of soils through chemical tests. Advances in Agronomy, 8:241-282.
- FOLE, D.A. e MIELNICZUK, J. 1975. Efeito da aplicação de fósforo de diferentes fontes fosfatadas sobre a produtividade de soja. Porto Alegre, UFRGS.
- FUZATTO, M.G. e F.A. CAVALERI, 1966. Correlação entre a resposta do algodoeiro à adubação fosfatada e a análise química do solo nas condições do Estado de São Paulo. Bragantia, 25(37):407-420.
- GLÓRIA, N.A. da e G.C. VITTI, 1968. Emprego de coluna de resina trocadora de cátions na separação de cátions e ânions de extrato do material vegetal. In: Anais da Esc. Sup. de Agric. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, v. XXV, p. 161-169.
- GOEDERT, W.J. e D.M.G. SOUSA, 1984. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Anais. 14º, Brasília, EMBRAPA, p.255-289.

- GOEDERT, W.J. e E. LOBATO, 1980. Eficiência agronômica de fósforos em solo de Cerrado. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, 15(3):311-318.
- GRANDE, , M.A.; N. CURI e J.A. QUAGGIO, 1986. Disponibilidade de fósforo pelos extratores de Mehlich e resina, em solos cultivados com arroz irrigado. Rev. Bras. Ci. Solo, 10(1):45-50.
- GUNARY, D.A. e G.P. SUTTON, 1967. Soil factors affecting plant uptake of phosphate. J. Soil Sci., 18:167-173.
- HAYMAN, D.S., 1975. Phosphorus cycling by soil micro-organisms and roots. In: WALKER, N. ed. Soil microbiology: a critical review. London, Butterworths, p.67-91.
- HISLOP, J. e I. COOKE, 1968. Anion exchange resin as a means of assessing soil phosphate status: a laboratory technique. Soil Sci., 105:8-11.
- HOLANDA, F.J.M., 1974. Avaliação do nível de fósforo em solos calcários por meio de diferentes métodos químicos e análise de planta. In: DÉCIMO QUARTO CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Anais. Santa Maria, RS, SBCS, p.285 (Resumo).
- JORGE, J.A. 1972. Fósforo. In: MONIZ, A.C. coord. 1972. Elementos de Pedologia. São Paulo, USP, 192-197.

- KAMPRATH, E.J. e M.E. WATSON, 1980. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: KHASAWNED, F.E.; E.C. SAMPLE e KAMPRATH, E.J. 1980. The role of phosphorus in agriculture. Madison, USA, p.433-469.
- KHASAWNED, F.E. e F.C. DOLL, 1979. The use of phosphate rock for direct application to soils. Advances in Agronomy, 30:159-206.
- KOCHHANN, R.; I. ANGHINONI e J. MIELNICZUK, 1982. A adubação fosfatada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: OLIVEIRA, A.J. de, S. LOURENÇO e W.J. GOEDERT, eds. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA/DID, 29-60p.
- LARSEN, S. 1952. The use of P^{32} in studies on the uptake of phosphorus by plants. Plant Soil, 4:1-10.
- LARSEN, S. 1974. Phosphorus - a limiting factor in future food production. Neth. J. Agric. Sci., 22:270-274.
- LATHWELL, D.J.; N. SANCHEZ; D.J. LISK e M. PEECH, 1958. Availability of soil phosphorus as determined by several chemical methods. Agron. J., 50:366-369.
- LOBATO, E., 1982. Adubação fosfatada em solos da Região Centro-Oeste. In: OLIVEIRA, A.J. de; S. LOURENÇO e W.J. GOEDERT, eds. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA/DID, p.201-240.

- LOPES, A.S. e F.R. COX, 1979. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob Cerrados. Rev. Bras. Ci. Solo, 3(2):82-88.
- MACIEL, C.A.C., 1974. Estudos sobre a fixação de fosfato em alguns solos do Paraguai. Piracicaba, ESALQ/USP, 79p. (Dissertação de Mestrado).
- MAHECHA, G.; J. QUINTERO; A. LIZARAZO; L. PACHECO; W. SANCHEZ; G. SANABRIA e N.M. de GONZALEZ, 1977. Evaluación del método de la resina de intercambio aniônico para la determinación del fósforo disponible en suelos colombianos. In: Suelos Ecuatoriales. Soc. Colombiana de Ciencia del Suelo, VIII(1):303-306.
- MALAVOLTA, E., 1981. Manual de Química Agrícola: adubos e adubação. São Paulo, Ceres, 596p.
- McAULIFFE, C.D.; N.S. HALL; L.A. DEAN e S.B. HENDRICKS, 1948. Exchange reactions between phosphates and soils: hydroxylic surfaces of soil minerals. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 12: 115-123.
- MELLO, F.A.; E. BELLONI; F. SANKOVSKY; N. KEFFER e F.M. VALERIS, 1980. Efeito do tratamento de um latossolo com fosfato sobre a capacidade de fixação de fósforo do mesmo. Rev. de Agric., LV(3):127-131.
- MIRANDA, L.M. e S.J. VOLKWEIS, 1981. Relações entre a resposta da soja à adubação fosfatada e alguns parâmetros do solo. Campinas, Rev. Bras. Ci. Solo, 5(1):58-63.

- MOHR, W. e M.C. CARVALHO, 1949. Contribuição para o conhecimento das formas de combinações de fósforo nos solos do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., Campinas, SP. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Solo, p.131-143.
- MORGAN, M.F., 1937. The universal soil testing system. Conn. Agric. Exp. Stn. Bull, 392.
- MOSER, U.S.; W.H. SUTHERLAND e C.A. BLACK, 1959. Evaluation of laboratory indexes of absorption of soil phosphorus by plants. I. Plant Soil, 10:356-374.
- MULDER, E.G.; T.A. LIE e J.B. WOLDENDORP, 1969. Biology and soil fertility. In: UNESCO, Soil Biology. Reviews of Research. Liege, UNESCO, p.163-208 (Natural Resources Research, 9).
- MUNIZ, A.S., 1983. Disponibilidade de fósforo avaliada por extratores químicos e pelo crescimento de soja (Glycine max (L.) Merrill) em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. Viçosa, M.G., UFV. 79p. (Dissertação de Mestrado).
- MUZILLI, O., 1962. Adubação fosfatada no Estado do Paraná In: OLIVEIRA, A.J. de; S. LOURENÇO; W. GOEDERT. eds. 1982. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA/DID. p.61-101.

- NELSON, W.; A. MEHLICH e E. WINTERS, 1953. The development evaluation and use of soil tests for phosphorus availability. In: PIERRE, W.H. e A.G. MAN. (Eds.) Soil and Fertilizer Phosphorus. Agronomy, 4:153-188.
- NOVAIS, F.R., 1977. Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soils. Department of Soil Science North Carolina State University, Raleigh, 153p.
- NOVAIS, R.F. e E.J. KAMPRATH, 1979. Fósforo recuperado em três extratores químicos como função do fósforo aplicado no solo e do "fator capacidade". Campinas, Rev. Bras. Ci. Solo, 3(1):41-46.
- NOVELINO, J.O.; R.F. NOVAIS; J.C.L. NEVES; L.M. COSTA e N.F. BARROS, 1985. Solubilização de fosfato de Araxã, em diferentes tempos de incubação, com amostras de cinco latossolos, na presença e na ausência de calagem. Campinas, Rev. Bras. Ci. Solo, 9(1):13-23.
- NYE, P.H. e P.B. TINKER, 1977. Solute movement in the soil-root system, studies in ecology. Oxford, Brackwell Scientific Publications, 342p.
- OLIVEIRA, A.J.; S. LOURENÇO e W. GOEDERT (ed.) 1982. Adubação fosfatada do Brasil. Brasília, EMBRAPA. 326p.

- OLSEN, S. e F.S. WATANABE, 1963. Diffusion of phosphorus as related to soil texture and plant uptake. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 27:648-653.
- OLSEN, S.; C.V. COLE; F.S. WATANABE e L.A. DEAN, 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Circ. 939.
- OKO, B.F.D. e A.A. AGBOOLA, 1974. Comparison of different phosphorus extractants in soils of the Western State of Nigeria. Agron. J., 66:639-642.
- PAAUW, F. van der, 1971. An effective water extraction method for the determination of plant-available soil phosphorus. Pl. Soil, 34:467-481.
- PALMA, G. e H.W. FASSBENDER, 1970. Estudio del fósforo en suelos de América Central..V. Uso de resinas de intercâmbio para evaluar la disponibilidad de P. Turrialba, 20:279-287.
- PEREIRA, J.R. e C.B.M. FARIA, 1978. Disponibilidade de fósforo aplicado em um vertissolo do Médio São Francisco, avaliada por métodos químicos. Campinas, Rev. Bras. Ci. Solo, 2(2): 125-128.
- PRATT, P.F. e M.J. GARBER, 1964. Correlations of phosphorus availability by chemical tests with inorganic phosphorus fractions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28:23-26.

RAIJ, B. Van, 1978. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. Rev. Bras. Ci. Solo, 2:1-9.

RAIJ, B. Van. 1983. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Inst. da Potassa e Fosfato. 142p.

RAIJ, B. Van e A. Van DIEST, 1980. Phosphate supplying power of rock phosphates in an oxisol. Pl. Soil, 55:97-104.

RAIJ, B. Van e J.A. QUAGGIO, 1983. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, IAC, 3lp. (Boletim Técnico, 81).

RAIJ, B. Van; P. CABALA-ROSAND e E. LOBATO, 1982a. A adubação fosfatada no Brasil; apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A.J. de; S. LOURENÇO e W.J. GOEDERT, eds. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA/DID, p.9-28.

RAIJ, B. Van; C.T. FEITOSA e Q.A.C. CARMELLO, 1982b. A adubação fosfatada no Estado de São Paulo. In: OLIVEIRA, A.J. de; S. LOURENÇO e W.J. GOEDERT, eds. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA/DID, p.103-136.

RANZANI, G.; O. FREIRE e T. KINJO, 1966. Carta de Solos do município de Piracicaba. Piracicaba, Centro de Estudos de Solos, ESALQ/USP. 85p.

RODRIGUES, M.R. dos S. 1980. Fatores que afetam a fixação dos fosfatos nos solos do Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP. 58p (Dissertação de Mestrado).

RUSSEL, E.W. 1973. Soil conditions and plant growth. 10^a ed. London, Longman, 849p.

- RUSSEL, E.J. e J.A. PRESCOTT, 1916-1917. The reaction between dilute acids and the phosphorus compound of the soil. J. Agric. Sci., 8:65-110.
- SARRUGE, J.R. e H.P. HAAG, 1974. Determinação colorimétrica do fósforo. In: Análises Químicas em Plantas. Piracicaba, ESALQ/USP. p.5-8.
- SCHOFIEL, R.K., 1955. Can a precise meaning be given to "available" soil phosphorus. Soil Fert., 18:373-375.
- SFREDO, G.J.; C.M. BORKERT; D.S. CORDEIRO; J.B. PALHANO e R.C. DIETRICH, 1979. Comparação de cinco extratores de fósforo do solo, considerando-se o tempo de incorporação de três adubos fosfatados. Rev. Bras. Ci. Solo, 3(2):111-115.
- SIBBESSEN, E. 1977. A simple ion-exchange resin procedure for extracting plant-available elements from soil. Pl. Soil, 46: 665-669.
- SMITH, P.F. 1962. Mineral analysis of plant tissue. Annu. Rev. Plant Physiology. 13:81-108.
- SMITH, T.J. e J.B. BASTOS. 1985. Adubação fosfatada para milho e caupi em latossolo amarelo álico do Trópico Úmido. Pesq. Agrop. Brasileira. Brasília, 20(11):1254-1259.
- SOBRAL, L.F. e F.A. de MELLO, 1984. Fixação de fósforo por um cambissol do Estado de Sergipe e seu valor "x" (WAUGH e FITTS, 1966). Rev. de Agric., 59(3):285-299.

- STRAUSS, E. 1951. Determinação do fósforo assimilável em solos de Pernambuco. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3, Recife, PE, Anais. Rio de Janeiro, SBCS, 1954. v. 1, p.515-518.
- SUSUKI, A.; K. LAWTON e E.C. DOLL, 1963. Phosphorus uptake and soil tests as related to forms of phosphorus in some Michigan soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 27:401-403.
- TANAKA, R.T.; V.G. BAHIA; A.M. COELHO e J.C. FREIRE, 1981. Seleção de extratores de fósforo do solo em função das respostas das plantas de milho (Zea mays L.) e da adubação com fosfato de Patos-de-Minas em condições de casa de vegetação. Campinas. Rev. Bras. Ci. Solo, 5(1):38-42.
- THOMPSON, L.F. e P.F. PRATT, 1954. Solubility of phosphorus in chemical extractions as indexes to available phosphorus in Ohio soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 18:467-470.
- THOMAS, G.W. e D.E. PEASLLE, 1973. Testing soil for phosphorus. In: WALSH, L.M. e BEATON, J.D. (eds.) Soil testing and plant analysis. 2a. ed. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wisconsin, p.115-132.
- TISDALE, S.L. e D.L. RUCKER, 1964. Crop responses to various phosphates. The Sulphur Institute, Tech. Bull. 9.

TRUOG, E. 1930. The determination of readily available phosphorus of soil. J. Am. Soc. Agron., 22:879-882.

TYNER, F.H. e J.G. DAVIDE, 1962. Some criteria for evaluating phosphorus tests for lowland rice soils. In: G.J. NEALE (ed.) Trans. Comm. IV and V Int. Soc. of Soil Sci. Nov. 1962, Palmerston North, New Zealand. Soil Bureau, P.B. Lower Hutt. p.625-634.

VERDADE, F. da C; A.C.P. WUTKE e A.Z. do AMARAL e K.IGUE. 1965. Níveis de fertilidade dos solos do Estado de São Paulo para a cultura algodoeira. I. Os teores de fósforo, nitrogênio e potássio. Bragantia, 24:55-74.

WALMSLEY, D. e I.S. CORNFORTH, 1973. Methods of measuring available nutrients in West Indian soils. II. Phosphorus. Plant Soil, 39:93-101.

WILLIAMS, J.H. 1965. The availability of soil phosphorus with special reference to anion exchange resin. In: SOIL PHOSPHORUS. London, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, p.49-56. (Technical Bulletin, 13).

ZUNINO, H.; M. AGUILERA e P. PEIRANO, 1972. A modified resin exchange method for measurement of available phosphate in soils derived from volcanic ash. Soil Sci., 114:404-405.

A P P E N D I C E

a) LVA fase arenosa, série Paredão Vermelho (PV)

b) LVE orto, série Guamium (G)

Figura 10 - Efeito de 50 ppm de P sob as formas de fosfato natural (FN), fosfato monoamônico (MAP) e superfosfato triplo (ST), adicionados a dois latossolos cultivados com Panicum miliaceum (painço), em Piracicaba, São Paulo.

a) LVA fase arenosa, série Paredão Vermelho (PV)

b) LVE orto, série Guamium (G)

Figura 11 - Efeito de 100 ppm de P sob as formas de fosfato natural (FN), fosfato monoamônico (MAP) e superfosfato triplo (ST) adicionados a dois latossolos cultivados com Panicum miliaceum (painço), em Piracicaba, São Paulo.

a) LVA fase arenosa, série Paredão Vermelho (PV)

b) LVE orto, série Guamium (G)

Figura 12 - Efeito de 150 ppm de P sob as formas de fosfato natural (FN), fosfato monoamônico (MAP) e superfosfato triplo (ST) adicionados a dois latossolos cultivados com Panicum miliaceum (paião), em Piracicaba, São Paulo.

a) LVA fase arenosa, série Paredão Vermelho (PV)

b) LVE orto, série Guamium (G)

Figura 13 - Efeito de 200 ppm de P sob as formas de fosfato natural (FN), fosfato monoamônico (MAP) e superfosfato triplo (ST) adicionados a dois latossolos cultivados com Panicum miliaceum (paíngo), em Piracicaba, São Paulo.