AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO
POR DIVERSOS EXTRATORES EM SOLOS CULTIVADOS COM
CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp*)

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. NADIR ALMEIDA DA GLÓRIA

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.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Junho - 1991

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação

Silva, Fábio Cesar da

S586a Avaliação da disponibilidade de fósforo por diversos extratores em solos cultivados com cana-de-açúcar (Saccharum spp). Piracicaba, 1991.
165p. ilustr.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Cana-de-açúcar - Nutrição 2. Cana-de-açúcar - Solo
3. Fósforo em cana-de-açúcar - Absorção 4. Fósforo em
solo - Disponibilidade 5. Solo - Química 1. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba

CDD 633.61

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO
POR DIVERSOS EXTRATORES EM SOLOS CULTIVADOS COM
CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp*)

FABIO CESAR DA SILVA

Aprovada em: 10.06.1991

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Nadir Almeida da Glória	ESALQ/USP
Prof. Dr. Bernardo Van Raij	IAC
Prof. Dr. Manoel Evaristo Ferreira	FCAV/UNESP

Prof. Dr. NADIR ALMEIDA DA GLÓRIA
Orientador

*À minha mãe e ao meu tio Marco Antonio que,
com carinho, estímulo e dedicação,
alicerçaram-me com um ideal científico e moral.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A todos os que contribuíram para a realização deste trabalho expresso meus agradecimentos, fazendo-o de maneira especial a:

- Prof. Dr. Nadir Almeida da Glória pela orientação, apoio e amizade.
- Dr. Bernardo Van Raij pela coorientação, estímulo e amizade.
- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP e Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, pela aquisição de novos conhecimentos e a consolidação da minha formação científica.
- Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista, pela oportunidade e facilidade oferecidas na fase de elaboração da dissertação.
- FAPESP, pelos recursos fornecidos ao projeto "Avaliação da disponibilidade de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar".

- Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa oferecida.
- SDI/EMBRAPA, pelo apoio oferecido na revisão bibliográfica.
- Ao Professor Fernando Valadares de Novaes (Departamento de Ciências e Tecnologia Agroindustrial, ESALQ/USP), pela revisão de português do presente texto.
- A Bibliotecária Kátia M. de Andrade Ferraz (Divisão de Biblioteca - ESALQ, setor de referência), pela revisão na citação da bibliografia consultada.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii.
LISTA DE TABELAS	xi.
LISTA DE ABREVIATURAS	xv.
RESUMO	xvi.
SUMMARY	xix.
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Formas de ocorrência e a dinâmica de fósforo no solo	6
2.1.1. Formas	6
2.1.2. Dinâmica das reações físico-químicas do fósforo e suas condicionantes	10
2.2. Disponibilidade de fósforo para as plantas e seus fatores determinantes	16
2.3. Avaliação de métodos para determinar o fósforo "disponível" no solo	19
2.3.1. Classificação dos métodos para dosagem de fósforo	19
2.3.2. Escolha de métodos - critérios e compa- rações	26
2.3.3. Histórico da cultura da cana-de-açúcar em relação aos extratores de fósforo do solo, no Brasil	37
2.4. Comentários sobre os trabalhos revisados	40

	Página
3. MATERIAL E MÉTODOS	44
3.1. Solos	44
3.2. Instalação e condução do ensaio	45
3.3. Análises físico-químicas dos solos (métodos) .	51
3.3.1. Análises físico-químicas de caracteri- dos solos	51
3.3.2. Extração e determinação de fósforo	53
3.4. Delineamento estatístico	57
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1. Avaliação da disponibilidade de fósforo em so- los pelos métodos testados	60
4.1.1. Teores de fósforo nos solos	60
4.1.2. Teores de fósforo e os parâmetros da planta	68
4.2. Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta a fósforo explicada pela análise dos teores do elemento e argila dos solos	74
4.2.1. Resposta em produção de MS da planta ..	75
4.2.2. Resposta em absorção de fósforo nas plantas	79
4.3. Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta biológica considerando um agrupamento de solos mais homogêneos em textura.	91

	Página
4.3.1. Agrupamento de solos arenosos (argila % < 20)	92
4.3.2. Agrupamento de solos mais argilosos (argila % > 20)	98
4.4. Avaliação de outros parâmetros complementares do solo em auxílio à previsão da resposta bio- lógica ao fósforo	103
4.5. Avaliação comparativa entre os métodos de ex- tração de fósforo do solo	109
5. CONCLUSÕES	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
APÊNDICE	144

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Esquema do vaso utilizado na experimentação. ...	48
2	Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte aérea ao elemento extraído do solo pelo H_2SO_4 0,05N.	81
3	Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte aérea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo H_2SO_4 0,5N.	81
4	Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte aérea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo extrator de Mehlich.	82
5	Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte aérea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pela resina trocadora de íons.	82
6	Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte aérea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo papel de filtro impregnado com hidróxido férrico (sem agitação).	83
7	Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte subterrânea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo H_2SO_4 0,05N.	83

Figura		Página
8	Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte subterrânea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo H_2SO_4 0.5N.	84
9	Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte subterrânea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo extrator de Mehlich.	84
10	Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte subterrânea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pela resina trocadora de íons.	85
11	Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte subterrânea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo papel de filtro impregnado com hidróxido férrico (sem agitação).	85
12	Representação gráfica da resposta do vegetal em conteúdo de fósforo absorvido na planta inteira ao elemento extraído do solo pelo H_2SO_4 0,05N. .	86
13	Representação gráfica da resposta do vegetal em conteúdo de fósforo absorvido na planta inteira a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo H_2SO_4 0,5N.	86

Figura	Página
14 Representação gráfica da resposta do vegetal em conteúdo de fósforo absorvido na planta inteira a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo extrator de Mehlich.	87
15 Representação gráfica da resposta do vegetal em conteúdo de fósforo absorvido na planta inteira a raiz quadrada do elemento extraído do solo pela resina trocadora de íons.	87
16 Representação gráfica da resposta do vegetal em conteúdo de fósforo absorvido na planta a raiz quadrada do elemento extraído pelo papel de filtro impregnado com hidróxido ferríco (sem agitação).	88

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 Resumo dos principais métodos para análise de fósforo considerados na literatura revisada. ...	22
2 Demonstração da porcentagem de variação (r^2) da resposta a fósforo explicada pela análise do elemento em solos, em diversos estudos de seleção de métodos.	23
3 Demonstração de valores médios da porcentagem de variação (r^2) da resposta ao fósforo explicada pela análise do elemento em solos, considerando o pH dos solos, em diversos estudos de seleção de métodos.	29
4 Resultados da caracterização física geral dos solos utilizados no ensaio.	49
5 Resultados da caracterização química geral dos solos escolhidos no ensaio (tratamentos).	50
6 Resultados de análise estatística do fósforo extraído dos solos (tratamentos) e a comparação de médias entre si (Tukey), para os diversos métodos testados.	62
7 Valores médios obtidos para teores de fósforo dos solos, pelas diferentes técnicas de extração testadas, resultados do uso de intervalo de confiança.	63

Tabela	Página
8 Valores médios obtidos para os parâmetros da planta, em MS e P, nas partes aérea, subterrânea e inteira, resultados do uso de intervalo de confiança.	67
9 Comparação dos intervalos de confiança estabelecidos pela análise estatística para extratores químicos e parâmetros de planta.	69
10 Resultados de análise de parâmetros de planta (teste F), em relação aos solos estudados e a comparação de médias entre si (Tukey).	72
11 Nível de correlação (r) entre a resposta da planta, em matéria seca e absorção de fósforo, em relação aos teores do elemento em solos, através de vários métodos testados.	73
12 Resultados das correlações entre a textura do solo (expressa pela % de argila) com os métodos de extração de fósforo do solo e parâmetros da planta, através do teste t.	76
13 Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta em matéria seca da planta a fósforo explicada pela análise do elemento em solos, pelos vários métodos testados e associado ou não à % de argila.	77
14 Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta em conteúdo de fósforo absorvido na planta ao elemento, explicada pela análise do mesmo em solos, pelos vários métodos testados e associado ou não à % de argila.	80

Tabela	Página
15 Nível de correlação (r) entre a resposta da planta, em matéria seca e absorção de fósforo, em relação aos teores do elemento em agrupamento de solos mais arenosos (argila < 20%), com auxílio de vários métodos testados, através do teste t.	94
16 Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta em matéria seca da planta em agrupamento de solos arenosos (argila < 20%), em face à análise da terra.	95
17 Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta em absorção de fósforo pela planta em agrupamento de solos arenosos (argila < 20%), em face à análise da terra.	97
18 Nível de correlação (r) entre a resposta da planta, em matéria seca e o conteúdo de fósforo absorvido, em relação aos teores do elemento em agrupamento de solos mais argilosos (argila > 20%), com auxílio dos vários métodos testados, através do teste t.	99
19 Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta em matéria seca da planta em agrupamento de solos argilosos (argila > 20%), em face à análise de terra.	100
20 Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta em absorção de fósforo pela planta em agrupamento de solos argilosos (argila > 20%), em face à análise de terra.	102

Tabela	Página
21 Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta em matéria seca pela planta inteira (g/vaso) em relação à análise do elemento extraído pelos vários métodos e associado a outros parâmetros do solo.	106
22 Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta em conteúdo de fósforo absorvido na planta inteira (mg P/vaso), em relação à análise do elemento extraído pelos vários métodos e associado a outros parâmetros do solo.	108
23 Avaliação do nível de correlação dos teores de fósforo extraídos dos solos, obtidos pelos diversos métodos testados entre si, com o auxílio do teste t.	110
24 Avaliação do nível de correlação dos teores de fósforo extraídos em solos agrupados pela textura (% argila), obtidos pelos diversos métodos testados entre si, com auxílio do teste t.	112
25 Avaliação comparativa da porcentagem de variação (r^2) dos teores de fósforo do solo pelos vários extratores testados entre si, estabelecidos com o auxílio de regressões lineares.	114

LISTA DE ABREVIATURAS

- Resina (IAC) = Técnica da resina trocadora de íons, proposta por RAIJ *et alii* (1986), método "oficial" do Instituto Agrônômico.
- Resina- Fe(OH)_3 = Resina impregnada com hidróxido férrico precipitado.
- Papel- Fe(OH)_3 ,
Papel (Pi)
ou Papel-Fe = Papel de filtro impregnado com hidróxido férrico.
- LIIC = Limite inferior do Intervalo de Confiança, a 5% de probabilidade.
- LSIC = Limite superior do Intervalo de confiança, a 5% de probabilidade.
- P ocluso = São as formas de fosfatos existentes no interior de óxidos e que não são dissolvidos nas primeiras extrações do método de fracionamento de P, proposto por CHANG & JACKSON (1957).
- MS = Matéria seca.
- * = Significativo ao nível de 5% de probabilidade.
- ** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO
POR DIVERSOS EXTRATORES EM SOLOS CULTIVADOS COM
CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp*)

Autor: FÁBIO CESAR DA SILVA

Orientador: PROF. DR. NÁDIR ALMEIDA DA GLÓRIA

RESUMO

Com o objetivo de comparar alguns extratores de fósforo, foram selecionados vinte solos de áreas canavieiras e com características físico-químicas diversas. Cultivou-se a cana-de-açúcar variedade SP 70-1284 em vasos, durante 75 dias, em condições de casa de vegetação, e determinaram-se as correlações entre os conteúdos de fósforo absorvido nas partes aérea, subterrânea e planta inteira, que foram considerados como referencial de "P disponível", e as quantidades no solo determinadas com os diversos processos de extração.

Na fase de implantação do ensaio utilizaram-se gemas pré-germinadas (com 1 semana e meia), colocadas individualmente nos vasos, previamente preenchidos com seis quilos (base seca) de cada solo (20), com duas repetições, e adicionada uma solução de micronutrientes, enxofre e quan-

tidades de N e K baseadas na estimativa de matéria seca da planta, com a dose de N complementada aos 16 dias após o plantio. Nesses vasos, as condições de umidade adequada foram mantidas por fios de naylon colocados na parte inferior dos mesmos, ocorrendo assim um processo de ascensão capilar da água armazenada no reservatório.

As técnicas de extração de fósforo empregadas para avaliar a disponibilidade do elemento nos solos foram a resina trocadora de íons (método "oficial" do IAC), H_2SO_4 0,05N, H_2SO_4 0,5N, (0,05N HCl + 0,025N H_2SO_4) Mehlich, resina com $Fe(OH)_3$ precipitado, resina sem agitação, papel de filtro impregnado com hidróxido ferrico (papel- $Fe(OH)_3$) com e sem agitação.

No final da condução do experimento, procedeu-se a colheita separada das partes aérea e subterrânea das plantas, com a secagem separada das amostras a peso constante (cerca de 65°C). A partir daí, prepararam-se os extratos nítrico-perclórico para a determinação do fósforo por colorimetria.

Face aos dados obtidos e submetidos às análises estatísticas e crítica, pode-se concluir que:

1. Os solos foram bem escolhidos, comprovado pelos diferentes potenciais de fornecimento de fósforo para as plantas, mas permitindo um contraste parcial dos métodos de extração de P.

2. O crescimento do vegetal em matéria seca e a absorção de fósforo nas partes da planta foram melhor explicados pelos teores de P extraído e de argila (textura) dos solos e a acidez (pH) do meio.
3. Nos solos arenosos, ocorreu um bom desempenho de todas as técnicas de extração de fósforo testadas.
4. Em solos mais argilosos, na maioria das vezes, verificou-se a superioridade dos métodos de Mehlich e resina trocadora de íons.
5. Na avaliação conjunta dos parâmetros intensidade e quantidade (representados pelo P extraído pelos vários métodos) e capacidade (representada pela % de Argila) na previsão da disponibilidade de fósforo para as plantas inteiras, verificou-se uma tendência de nivelamento nos valores de r^2 dos modelos, mas manteve-se o melhor desempenho da resina (IAC) e resultados favoráveis do H_2SO_4 0,5N e Mehlich.

EVALUATION OF PHOSPHORUS AVAILABILITY
IN SOILS CULTIVATED WITH SUGAR CANE
(*Saccharum spp*)

Author: FÁBIO CESAR DA SILVA

Adviser: PROF. DR. NÁDIR ALMEIDA DA GLÓRIA

SUMMARY

Twenty soils with varied physicochemical properties were collected in sugar cane growing areas of the State of São Paulo, aiming the comparison of soil tests for phosphorus.

Sugar cane, variety SP 70-1284 was cultivated during 75 days under greenhouse conditions, with 6 kg pots and two replicates for each soil. The soils were limed as needed and micronutrients, sulfur, nitrogen and potassium were supplied. Thus the nutrient limiting growth was phosphorus and dry matter of roots and aerial parts of the plants and its P contents were taken as reference for the availability of the element in the soils.

Phosphorus was extracted from soils by different procedures using ion exchange resin (official method of São Paulo State), $0.05N H_2SO_4$, $0.5N H_2SO_4$, $0.05N HCl + 0.025$

H_2SO_4 (Mehlich), ion exchange resin with $Fe(OH)_3$, ion resin without shaking, filter paper impregnated with $Fe(OH)_3$ with and without shaking.

In general P uptake of different plants was related to soil P for the different procedures, indicating a range of availability of the nutrient in the soils. Multiple correlations including soil P, clay content and P as independent variables were superior for assessing availability as compared with simple correlations with soil P as independent and P uptake as dependent variable.

In sandy soils all methods were adequate whereas in clayey soils the resin and Mehlich methods were superior to the others. When clay content was also considered, in multiple regressions, the best methods were resin, 0.5N H_2SO_4 and Mehlich.

1. INTRODUÇÃO

O fósforo, elemento essencial para a condução técnico-econômica de todas as culturas existentes no País, apresentando-se em nossos solos como de pouca disponibilidade, extraído pelas plantas em quantidades baixas a médias como nutriente, tem sido o responsável em muitos casos pela limitação da produtividade. Tal fato pode ser explicado em consequência do baixo perfilhamento, do sistema radicular mal formado ou, ainda, atribuído a uma simples limitação no suprimento energético que mantém diversos processos fisiológicos do vegetal, a partir do desdobramento metabólico da adenosina trifosfato (ATP).

Atualmente, no Brasil são consumidas quantidades elevadas de fertilizantes fosfatados, da ordem de 2 milhões de toneladas de P_2O_5 /ano (GOEDERT & SOUSA, 1984), o que demonstra um consumo elevado desse insumo, com reflexos do ponto de vista econômico e do uso racional. Nos solos tropicais, o diagnóstico da necessidade da adubação fosfatada é particularmente afetado pela existência de uma forte interação dos fosfatos com a fase sólida do solo, exercida principalmente pelos processos de adsorção e de precipitação de fósforo. Para avaliar a disponibilidade desse elemento em

solos brasileiros tem-se usado a análise de terra e histórico da área (RAIJ *et alii*, 1982). Tais critérios vêm sendo empregados há mais de meio século em algumas regiões do território nacional, e atualmente tendem a ser substituídos apenas pela análise dos solos.

No início dos trabalhos de pesquisa sobre o comportamento do fósforo no solo, enfatizou-se o uso de ácidos fortes, a exemplo das extrações com HNO_3 a 20%, após sua calcinação, mas tais técnicas não tinham qualquer relação com a resposta biológica.

Com a introdução dos conceitos dos fatores intensidade, quantidade, e capacidade e difusão dos trabalhos científicos, houve uma evolução considerável na compreensão da disponibilidade de P nos solos.

Na revisão de RAIJ (1978), verificou-se que os extratores químicos em uso refletem ora o fator quantidade ora a intensidade, e os trabalhos então consultados indicaram ser o primeiro fator o mais importante parâmetro de P do solo, explicando a maior parte da variação do efeito de P para culturas.

Na década de 70, no Estado de São Paulo, o extrator mais utilizado para aferir a necessidade de adubação fosfatada era a solução de H_2SO_4 0,05N, ou ainda, como no resto do país, o extrator de Mehlich (Carolina do Norte), solução de HCl 0,05N e H_2SO_4 0,025N (NELSON *et alii*, 1953).

Posteriormente, face à constatação de uma baixa correlação entre os valores de P extraídos com H_2SO_4

0,05N e os resultados com a fertilização fosfatada, verificou-se a necessidade de avaliar outros extratores. Em particular para a cana-de-açúcar, BITTENCOURT *et alii* (1978) propuseram o uso de solução mais concentrada, ou seja, a solução de H_2SO_4 0,5N para avaliar a quantidade de "P disponível" no solo para a referida cultura.

MANHÃES *et alii* (1978) para solos do Rio de Janeiro, confirmaram a boa correlação da solução de H_2SO_4 0,5N e a disponibilidade de fósforo para a cana. Em função desses e de outros resultados experimentais, o IAA-PLANALSUCAR, estabeleceu através de um grande número de ensaios de campo, uma calibração das análises de solo através desse extrator, a adubação fosfatada da cana-de-açúcar para os Estados do Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro.

Nos Estados do Nordeste do Brasil, a partir do trabalho de MARINHO & ALBUQUERQUE (1978), que em solos de Alagoas calibraram a resposta da cana-de-açúcar ao fósforo, através do método de Mehlich (Carolina do Norte), foi introduzido o uso de tal técnica na rotina de análise de terra para estabelecer a dose de fertilizantes fosfatados.

Os extratores ácidos apresentam como grande vantagem para o uso em laboratório, o fato de possibilitarem extratos límpidos (RAIJ *et alii*, 1984) e facilidade de execução da análise, devido a velocidade de decantação das suspensões ser maior, o que permite a eliminação do processo de filtração.

De acordo com RAIJ *et alii* (1984), os referidos extratores apresentam dois grandes defeitos: a baixa extração de fósforo em solos argilosos, principalmente os latossolos roxos, mesmo em condições de suprimento adequado do nutriente; e a extração do fósforo de eventuais resíduos de fosfatos naturais existentes no solo.

Existem vários métodos de extração de fósforo do solo, que são pouco afetados por resíduos de fosfatos naturais no solo. Entre esses, os que empregam resina trocadora de íons (RAIJ, 1978), bicarbonato de sódio 0,5N a pH 8,5 (FEITOSA & RAIJ, 1976), solução de ácido clorídrico 0,025N com fluoreto de amônio 0,03N (RAIJ & DIEST, 1980) e o papel de filtro impregnado com hidróxido férrico (MENON *et alii*, 1989b).

No Estado de São Paulo, a partir da revisão feita por RAIJ (1978) teve início o estudo sistemático do uso da resina trocadora de íons para aferir a disponibilidade de fósforo para diferentes culturas e dentre elas a da cana-de-açúcar. O método em apreço é, atualmente, o método "oficial" de análise do solo neste Estado.

Em virtude do exposto, pretende-se em condições de casa de vegetação, avaliar a disponibilidade de fósforo nos solos cultivados com cana-de-açúcar, relacionando o P extraído avaliado pelos vários métodos e o conteúdo de P absorvido pela planta.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O fósforo, elemento essencial para a vida das plantas, tem como principal função o armazenamento e a transferência de energia estrutural, refletindo em maior taxa fotossintética e na absorção iônica ativa, condicionando o aumento de produção e o acúmulo de carboidratos nos tecidos. Para a cultura de cana-de-açúcar, o fósforo tem uma extração moderada do elemento, em torno de 0,23 a 0,30 kg em uma tonelada de colmo industrial (SILVA & CASAGRANDE, 1983) sendo, no entanto, o nutriente que mais limita a produção em nossos solos. A avaliação da disponibilidade de fósforo do solo para várias culturas é feita na prática com extratores químicos, visando aferir a necessidade de adubação fosfatada, embora existam alguns pesquisadores que não acreditam que esta medida seja suficiente para chegar-se à recomendação mais adequada (NOVAIS & KAMPRATH, 1979; MUNIZ, 1983).

Independente dessa questão, estudos visando estabelecer a dose ótima de fertilizantes podem ser realizados em duas etapas: mediante trabalhos de laboratório e em casa de vegetação, selecionando os métodos de extração mais convenientes, e através da experimentação de campo, visando o estabelecimento de faixas de adubação para as culturas.

Trabalhos de laboratório e em casa de vegetação são muito utilizados para a determinação do fósforo disponível, mas o tema é complexo, pois o elemento encontra-se no solo sob várias formas e com alta interação físico-química com a fase sólida. Tais aspectos serão discutidos nos tópicos a seguir.

2.1. Formas de ocorrência e dinâmica do fósforo no solo

2.1.1. Formas

Na solução do solo, o fósforo ocorre em geral em teores muito baixos, encontrando-se predominantemente na forma de H_2PO_4^- , em condições de maior acidez, e de HPO_4^{2-} , em valores de pH acima de 7,0.

Na fase sólida do solo, o fósforo encontra-se combinado, em sua maior parte, em compostos de ferro, alumínio e cálcio, e na matéria orgânica. A participação relativa das diferentes formas de fósforo pode ser avaliada através de extrações seletivas e consecutivas do P do solo com o auxílio de soluções capazes de remover formas determinadas do elemento. Um exemplo é a metodologia proposta por CHANG & JACKSON (1957), que utiliza extrações do P do solo consecutivamente com solução de NH_4Cl 1N (P solúvel em água), NH_4F 0,5N (P ligado a alumínio), NaOH 0,1N (P ligado a ferro), H_2SO_4 0,5N (P ligado a cálcio), citrato de sódio 0,3M + ditionito de sódio (P ocluso ligado a ferro) e NH_4F 0,5N (P

ocluso ligado a alumínio).

As formas de fósforo em equilíbrio nos solos tropicais, que são predominantemente ácidos e mais intemperizados, são consequência da presença predominante de caulinita e óxidos de ferro e alumínio, sendo mais importantes as combinações de fósforo com ferro e alumínio. Em solos neutros ou alcalinos é mais importante a ocorrência de fosfatos ligados ao cálcio.

Em condições naturais de cultivo, MARTENS *et alii* (1969) e BAHIA FILHO & BRAGA (1975), trabalhando com a cultura de aveia em quatro e vinte latossolos, respectivamente, observaram que a principal fonte de fósforo disponível foi a fração P-Al.

DELAZARI *et alii* (1980) verificaram, em solos do Estado do Espírito Santo com teores de argila variando de 2 a 47% que, dentre as frações de fósforo inorgânico que compõem o fósforo disponível, predominou a fração P-Fe, seguida das frações P-Al e P-Ca. O predomínio das formas do fósforo ligado a Fe e Al nos solos, pode ser explicada por duas hipóteses: as condições ácidas favoreceriam a formação de fosfatos de ferro e alumínio (RALTJE, 1960) ou atribuindo ao fato do fosfato de ferro que seria a forma dominante em solos mais intemperizados (latossolos) (CHANG, 1965), e naqueles menos intemperizados a de cálcio.

Tais observações foram confirmadas em solos com menor grau de intemperismo pelos resultados de CATANI & BATAGLIA (1968), que estudaram o fracionamento do fósforo em

oito amostras do horizonte Ap de latossolo roxo dos Estados de São Paulo e Paraná, verificando uma quantidade de 45,3 a 162,5 ppm de fósforo ligado ao cálcio, o que pode ser justificado pelo teor de 7 a 19 meq de cálcio trocável por 100 g de solo e o pH neutro (6,30 a 7,50). Tais condições permitiram que uma fração do fósforo se conservasse na forma de fósforo ligado ao cálcio, sendo a seguinte a sequência de distribuição das duas frações de fósforo do solo: P-ocluso > P-Al $\cong$ P-Ca > P-Fe. JORGE & VALADARES (1969), determinaram as formas de fósforo nativo em diversos solos do Estado de São Paulo, concluindo que, embora alguns solos avaliados apresentem alto teor de P total, a quantidade de P-Ca se acha em níveis baixos, salvo na Terra Roxa Estruturada.

Em decorrência de teores baixos de fósforo assimilável em nossos solos para as plantas e, devido as culturas necessitarem de um teor maior do elemento, torna-se fundamental o uso de fertilizantes fosfatados para suprir a demanda dos vegetais, o qual deve ser dimensionado em função do teor de fósforo disponível no solo em questão.

A dissolução destes fertilizantes fosfatados adicionados ao solo é afetada pela solubilidade dos compostos existentes no meio ou que se formam no solo, podendo ser acompanhados através da comparação das isotermas de solubilidade de sistemas $\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{H}_2\text{O}$, à temperatura de 25°C.

No caso do superfosfato triplo (SFT) colocado no solo, por exemplo, a água penetra inicialmente no grânulo, dissolvendo o fosfato monocálcico (FMC) e promovendo a

sua dissolução inicial. Com o passar do tempo, a solução equilibra-se com a formação de fosfato dicálcico (FDC), com tendência a precipitar no meio. Segundo LINDSAY & STEPHENSON (1959), a solução emergente do grânulo no solo, que tinha um pH de 1,0 a 1,5, com concentração de P de 4,0 a 4,5 M e 1,3 a 1,5M de cálcio, pode desestabilizar os minerais de argila adjacentes e, conseqüentemente, torná-los disponíveis para reagirem com íons fosfatos, com precipitação preferencial de fosfatos de Fe e Al, fato verificado por difração de raio-X.

Vários outros trabalhos de pesquisa mostram essa tendência da aplicação de uma fonte de fósforo solúvel, principalmente em solos ácidos, possibilitando a formação preferencial de fosfato de ferro e, em menor escala, de fosfato de alumínio.

O trabalho de WRIGHT & PEECH (1960) tornou-se clássico pela abrangência de 32 solos ácidos americanos, tendo os autores demonstrado com auxílio de determinações de produtos de solubilidade dos compostos originados, que a adubação fosfatada aumentava a fração do fósforo que se ligava ao ferro, e que somente em dois solos ocorreu fósforo predominante ligado ao alumínio.

2.1.2. Dinâmica das reações físico-químicas do fósforo e suas condicionantes

A solubilidade dos compostos de fósforo explica os vários resultados da literatura, com teores elevados

altos de P total nos solos de São Paulo, na faixa de 134 (JORGE & VALADARES, 1969) até 1493 ppm (CATANI & BATAGLIA, 1968) e, simultaneamente, apresentando deficiência do elemento para várias culturas.

Pode ser atribuído às interações do P com a fase sólida do solo, ocasionando pelo fato de somente uma pequena parte do P total estar na forma disponível às plantas.

Do ponto de vista de nutrição de plantas, o fósforo que se encontra na fase sólida, pode ser dividido em P lábil e P não-lábil, considerando-se a fração lábil como sendo a mais disponível.

Do ponto de vista de reações físico-químicas de fósforo no solo, destaca-se como de fundamental importância para a manutenção do teor de "P disponível" ao crescimento das plantas a adsorção e a precipitação (FASSBENDER, 1984), pois o P lábil engloba o P absorvido ligado ao sítio de troca de colóides minerais ou orgânicos, ou ainda precipitado e o P não lábil, por sua vez, é aquele P fortemente adsorvido ou precipitado em compostos insolúveis.

A precipitação de fósforo é inversamente proporcionais ao produto de solubilidade (Ks), que, por sua vez, é condicionado, por vários fatores básicos (GLÓRIA & CHITOLINA, 1990), destacando-se em particular a concentração iônica necessária para a precipitação (Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , F^- , H_2PO_4^- , OH^-); precipitação diferencial ou seletiva, quando um íon H_2PO_4^- forma compostos pouco solúveis com dois ou

mais íons de uma solução, a tendência é haver precipitação inicial do sal menos solúvel (K_s menor) e só depois iniciar-se a precipitação do mais solúvel; e precipitação controlada pela atividade dos íons OH^- e H^+ . O fosfato reage com Ca^{2+} , Fe^{2+} , e Al^+ dando precipitados cujos produtos de solubilidade são conhecidos, mas a estabilidade desses depende fundamentalmente do pH e da concentração do íon H_2PO_4^- no solo. A influência do pH no processo de precipitação de fosfatos foi estudada por COLE & JACKSON (1950), que verificaram que precipitados amorfos de P ligados a Fe e Al aumentavam, com a rápida elevação do pH no sistema, devido ao maior tempo de passagem dos precipitados amorfos de P para a forma cristalina; quando o aumento do pH era gradativo, a passagem era mais rápida.

Do ponto de vista teórico, é possível prever-se a solubilidade de compostos contendo fósforo que ocorrem no solo, através de cálculos envolvendo seus produtos de solubilidade e as constantes termodinâmicas dos íons fosfato e o pH do meio. Isto pode ser apresentado na forma de tabelas e gráficos, conforme aparece em MALAVOLTA (1976) e RAIJ (1987).

Deve ser salientado que, quanto maior o valor do P_{ks} , tanto maior será a estabilidade do composto no solo.

Para estudar a influência do pH na precipitação de fosfatos, MALAVOLTA *et alii* (1965) aplicaram ^{32}P em solo ácido de cerrado, o que fez subir e aumentar a quantidade de P disponível avaliada por um método de diluição

isotópica (o valor "A"), provavelmente devido ao aumento do pH (até 6,5), diminuindo a solubilidade do Fe e do Al e aumentando a saturação em cálcio, com a possibilidade de se formarem fosfatos de cálcio mais solúveis; além disso, os ânions OH^- mais abundantes em condições de calagem competem com H_2PO_4^- por posições de adsorção na superfície dos colóides, através de processo de troca de ligantes.

Portanto, além da reação de precipitação de fosfatos no solo, destaca-se o fenômeno de adsorção de P na superfície das partículas do solo, contribuindo também para a redução da disponibilidade de fósforo para as plantas.

FASSBENDER (1984) diferencia a adsorção de fósforo no solo em dois grupos, baseado no grau e tipo de ligação entre o fosfato e a superfície adsorvente da partícula do solo. O primeiro tipo de ligação é chamado de química de natureza covalente (adsorção específica), a qual ocorre independente da carga existente na superfície do colóide dependente de pH, com elevada força de atração, resultando com o passar do tempo (envelhecimento) em fósforo não-lábil. Já o segundo tipo de adsorção de fósforo é conhecido como não específica para o elemento, no qual ocorre uma atração eletrostática entre os ligantes, cujo processo será melhor elucidado posteriormente no texto.

As reações de adsorção do fósforo no solo foram didaticamente subdivididas e descritas por RYDEN *et alii* (1977a), que relataram a sua ocorrência em três regiões distintas dos óxidos hidratados de ferro, colocados em função

do nível de saturação de cátions nas partículas. A primeira adsorção química específica de P, ocorreria em condições de baixíssima saturação de bases nos solos, envolvendo a troca de H_2PO_4^- pelo ligante $-\text{OH}_2^+$ da superfície protonada.

Para ocorrer a referida adsorção é necessária baixa concentração de cátions na superfície da partícula, para existir o ligante $-\text{OH}_2^+$, o que ocorre em condições de alta acidez no solo.

A adsorção específica (região II) pode ocorrer também no solo com a troca feita pelo ligante $-\text{OH}$, que acontece à medida que aumenta o pH e, ao contrário do primeiro, não resulta aumento de carga (RYDEN *et alii*, 1977a).

A terceira região em adsorção de fósforo no solo, é descrita pelos autores ser caracterizada pela presença de tipo de ligação eletrostática do fosfato e a superfície, causada pela baixa energia envolvida na reação e o

potencial da superfície próximo de zero e de condições de razoável teor de bases.

Todavia, para ocorrer a adsorção não específica de P é essencial que se tenha um pH abaixo do ponto de carga zero (PCZ), o que permite a formação de carga positiva na superfície do colóide de carga variável (FASSBENDER, 1984), e uma baixa concentração de fósforo em solução.

Posteriormente, RYDEN *et alii* (1977b) estudaram em maior profundidade o processo de adsorção de fósforo e verificaram que, inicialmente (até 48 horas), ocorreria um rápido decréscimo na concentração de fósforo na solução. A partir daí, o processo era mais lento, prosseguindo até 192 horas. Nessa segunda fase ocorria um equilíbrio entre a goethita e os minerais amorfos de ferro formados. Ocorria uma passagem do P adsorvido da região III para I e II, atribuída à difusão do fósforo por poros estruturais no material amorfo.

KAFKAFI *et alii* (1967), discutiram que o fósforo pode ser "fixado", na realidade uma adsorção pela caulinita que não permite extrair o fósforo a pH constante, resultado da formação de duas ligações coordenadas na superfície, ao que o fósforo removido teria uma única ligação. Tal processo é denominado na literatura como "envelhecimento" do fosfato ligado aos óxidos de Fe e Al, o que pode ser quantificado com auxílio de técnica de troca isotópica com P marcado. Este mecanismo de envelhecimento dos óxidos de Fe e Al permite chegar a partir da goethita e gibbsita, a novas

estruturas cristalinas (FORD, 1933), ou ainda, a passagem do P lábil para a forma não lábil, aos vegetais.

Nas argilas silicatas do solo, por sua vez, segundo MELLO *et alii* (1987), ocorrem adsorções na superfície ou nas bordas dos cristais de caulinita, através de substituição de hidroxilas (OH^-), com a formação de ligações argila-cálcio-fosfato, e ainda por tetraedros de fosfato (PO_4^{3-}) (STOUT, 1939). Essas adsorções podem ocorrer na superfície dos colóides adsorventes, como gibbsita, goethita, hematita, caulinita, alofanas, minerais de argila de tipo 2:1 e em CaCO_3 (RAIJ, 1981). O mesmo autor discute que a adsorção de fósforo é muito variável no solo, em relação à natureza mineralógica da fração argila, ocorrendo um aumento de adsorção do elemento grade cristalina tipo 2:1 para o tipo 1:1 e óxidos de Fe e Al. Entretanto, em condições dos solos de São Paulo, devido ao recobrimento das argilas silicatadas pelos óxidos de Fe e Al, praticamente não se verifica quase a influência da natureza mineralógica desses na adsorção de P (RAIJ, 1981).

O processo de adsorção de fósforo no solo pode ser influenciado por vários fatores, ocasionando o aumento diretamente proporcional à concentração de fósforo na solução (RAIJ & DIEST, 1980; RAJAN, 1973), tempo de reação (GONÇALVES *et alii*, 1985), com a quantidade de argila (OLSEN & WATANABE, 1963) com a sua superfície específica (SÁ *et alii*, 1968) e, inversamente, ao teor de matéria orgânica que imobiliza os íons Fe e Al (quelação) ocasionando, neste

caso, maior disponibilidade de fósforo (THOMPSON, 1957).

2.2. Disponibilidade de fósforo para as plantas e seus fatores determinantes

O suprimento contínuo de fósforo para a planta a partir do solo pode ser representado do seguinte modo (GUNARY & SUTTON, 1967):

Segundo essa representação, a quantidade de fósforo absorvido pela planta dependeria do P-lábil (P-solo) representado pelo "fator quantidade" ou a reserva de fósforo no solo; do P-solução, ou "fator intensidade", representado pelo elemento na solução do solo; do "fator capacidade", definido pela relação entre as constantes k_1/k_2 , denominada de poder tampão de fosfato no solo, sendo uma medida da capacidade do solo em manter um definido nível de fósforo em solução e, pelas constantes k_3 (influxo) e k_4 (efluxo), em que k_3 é, provavelmente, limitante somente em altas concentrações de fósforo na planta, e k_4 desprezível para a planta em intenso crescimento.

Portanto, em condições de crescimento vegetativo normal, k_3 e k_4 não são importantes, e o sistema reduz-

-se a quatro fatores primários: quantidade (P-solo), taxa ou capacidade (K_1/K_2), intensidade (P-solução) e difusão.

A capacidade das plantas em aproveitar o fósforo do solo restringe-se, em geral, ao que se encontra na solução do solo. Portanto, o desejável é manter continuamente a concentração de fósforo na solução do solo, da qual as plantas absorvem o elemento.

Para que a absorção se torne contínua, o fósforo deve liberar-se da fase sólida e movimentar-se, por difusão (D), até a superfície das raízes. A difusão do fósforo no solo é proporcional aos teores de fósforo em solução, poder tampão, P lábil, umidade e outros fatores do solo (BARBER, 1984).

O fator capacidade, por sua vez, é mensurado através da facilidade do solo em manter o parâmetro intensidade (I), pela oscilação do parâmetro quantidade (Q), consequência da aquisição ou perda de P do solo (RAIJ, 1978).

Segundo BECKETT & WHITE (1964), a capacidade pode ser também chamada de poder tampão potencial, e definida como a relação $\Delta Q/\Delta I$.

LARSEN (1974) descreve o comportamento do fósforo no solo através das seguintes reações:

Foi verificado que o conceito de intensidade (I) e capacidade tem se ajustado melhor ao comportamento da adsorção de fósforo pelas plantas, em substituição aos

potenciais químicos de fósforo. Essa mudança de enfoque foi proporcionado pelo desenvolvimento de técnica de troca isotópica com ^{32}P para determinar o chamado fósforo isotopicamente trocável (LARSEN, 1952; RAIJ, 1978). Essa técnica permite determinar o denominado "fosfato lábil", caracterizado como fator "quantidade".

Os primeiros trabalhos realizados por SCHOFIELD (1955), enfocavam chegar-se ao fator intensidade com o auxílio da idéia de potencial químico do fosfato monocálcico, fornecido pela expressão $1/2 \text{ pCa} + \text{pH}_2\text{PO}_4$, e calculando a partir de P em solução de CaCl_2 0,01M.

Posteriormente, verificou-se que era concentração de P em solução e não potencial de fosfato que estabelece o nível de absorção de P pela planta (WILD, 1964; MATTINGLY, 1965), o que gerou na época vários trabalhos, buscando medir o fator intensidade através de técnicas a serem apresentadas no próximo item da revisão. Todavia, deve ser lembrado que "P lábil" pode variar em função do cultivar (GOMES & BRAGA, 1980) e do crescimento (FAGERIA, 1990), e de outras características das plantas (BARBER, 1979), tais como a densidade das raízes, volume radicular e mudanças químicas na interface solo-raíz.

Para ilustrar o conceito de P lábil e P não lábil e os seus mecanismos, RAIJ (1981) descreve o que ocorre quando é adicionada uma grande quantidade de P solúvel (em água) ao solo. Há, inicialmente, um grande aumento da quantidade do fosfato lábil e do fosfato em solução, o

fosfato lábil consistindo principalmente de formas adsorvidas. Com o tempo, há um envelhecimento do fosfato lábil, que vai adquirindo uma constituição mineralógica mais estável e de mais difícil solubilização (P não lábil), considerando-se a fração lábil como sendo a mais disponível para as plantas (RAIJ, 1978).

2.3. Avaliação de métodos para determinar o fósforo "disponível" no solo

2.3.1. Classificação dos métodos de extração de fósforo

Em revisão bibliográfica sobre o assunto, RAIJ (1978) observou que os fatores quantidade, intensidade, capacidade ou taxa e difusão, indicaram a disponibilidade do elemento no solo, constando ser o fator quantidade o mais importante parâmetro de P no solo, explicando a maior parte da variação do efeito de P do solo para culturas.

Embora os valores absolutos do P extraídos pelas várias técnicas expliquem em grande parte a variação do P absorvido pelas plantas, BAHIA FILHO *et alii* (1983), sugeriram a inclusão do fator capacidade para melhorar o poder de previsão dos modelos empregados. O fator capacidade permite medir o poder tampão do solo, ou seja, a capacidade do solo em manter o fósforo na solução durante o período de crescimento vegetal (HOLFORD & MATTINGLY, 1976).

Todavia, as primeiras soluções extratoras eram ácidos fortes que tinham alta capacidade extratora, como a exemplo do HNO_3 a 20% com calcinação, mas sem correlação com a resposta biológica (DYER, 1894).

Os métodos considerados mais promissores e frequentes em nível mundial foram resumidos na Tabela 1, sendo agrupados trabalhos que avaliaram os extratores em relação à resposta da planta ao fósforo do solo, determinada em condições de casa de vegetação.

Na literatura mundial existem diversos extratores de P do solo e uma série de classificações agrupando-os, mas o agrupamento tradicional, realizado por THOMAS & PEASLEE (1973), merece registro. Segundo esses autores, os extratores podem ser agrupados em: a) soluções concentradas de ácidos minerais; b) soluções tamponadas de bases; c) soluções tamponadas de ácidos fracos; d) soluções de sais neutros; e e) soluções diluídas de sais ou água.

Os métodos baseados no uso de solução tamponada de base (método de Olsen), e de soluções de ácidos fracos tamponados (Morgan, Egnér e Truog) extraem quantidade variáveis de P, possivelmente correlacionáveis com o P absorvido pela planta (Tabela 2), mas raramente equivalentes com o que seria o P lábil (RAIJ, 1978).

Com as soluções diluídas de sais ou água (métodos de CaCl_2 0,01M e P-água) obtém-se valores oscilantes de correlação com a resposta biológica e não comparáveis em termos absolutos; portanto, não pode ser atribuídos aos da-

dos obtidos por estes critérios ao fator intensidade (RAIJ, 1978).

Todavia, a classificação proposta por THOMAS & PEASLEE (1973) é incompleta, pois não permite enquadrar os métodos da resina trocadora de íons e de Bray 1 e 2. Os métodos Bray 1 e 2 são baseados na ação do fluoreto como complexante do Fe e Al do solo (THOMAS & PEASLEE, 1973), principalmente em solos argilosos em meio ácido, explicando o bom desempenho desses extratores em condições de solos de média a baixa CTC, moderada a altamente intemperizados e com baixos conteúdos de fósforo ligado ao cálcio (MUNIZ, 1983).

Em virtude das falhas apresentadas na classificação de THOMAS & PEASLEE (1973), procurou-se utilizar uma outra sistemática, baseado no princípio ativo de anions com reação específica e natureza química das soluções extratoras de fósforo do solo (KAMPRATH & MATSON, 1980).

Tabela 1 - Resumo dos principais métodos para análise de fósforo considerados na literatura revisada.¹

TÍTULO ABREVIADO	SOLUÇÃO EXTRATORA OU PROCESSO	Nº DE TRABALHOS EM QUE O MÉTODO FOI UTILIZADO ¹	REFERÊNCIAS DOS MÉTODOS ORIGINAIS
Resina	Adsorção de P pela resina Trocadora de ânions colocada em suspensão de solo em água	31	COOKE & HISLOP (1963) AMER <i>et alii</i> (1955)
Olsen	NaHCO ₃ 0,5N a pH 8,5	45	OLSEN <i>et alii</i> (1954)
Bray 1	NH ₄ F 0,03N em HCl 0,025N	42	BRAY & KURTZ (1945)
Bray 2	NH ₄ F 0,03N em HCl 0,10N	19	BRAY & KURTZ (1945)
Mehlich	H ₂ SO ₄ 0,025N em HCl 0,050N	25	NELSON <i>et alii</i> (1953)
Truog	H ₂ SO ₄ 0,002 tamponado com sulfato de amônio a pH 4,8	13	TRUOG (1930)
Morgan	Acetato de sódio 0,75N em ác. acético 0,5N a pH 4,8	13	MORGAN (1937)
Egnér	Lactato de amônio 0,1N em ác. acético 0,4N a pH 4,0	9	EGNÉR <i>et alii</i> (1960)
Água	Água destilada	13	
CaCl ₂	CaCl ₂ 0,01M	12	SCHOFIELD (1959)
Valor E	Troca isotópica com P ³² sem o uso de planta	16	McAULIFFE <i>et alii</i> (1948)
Valor L	Troca isotópica com P ³² com o uso de planta	8	LARSEN (1952)
Papel Fe(OH) ₃	Papel de filtro impregnado com Fe(OH) ₃ precipitado	4	MENON <i>et alii</i> (1989b)

¹ De um total de 72 trabalhos.

Tabela 2 - Demonstração da porcentagem de variação (r^2) da resposta a fósforo explicada pela análise do elemento em solos, em diversos estudos de seleção de métodos.

ANO	AUTOR	LOCAL	SOLOS	PORCENTAGEM DE VARIAÇÃO EXPLICADA POR PARÂMETROS DE P NO SOLO													PAPEL Fe	VALOR E	VALOR L
				RESINA	OLSEN	BRAY 1	BRAY 2	MEHLICH	TRUOG	MORGAN	EGNER	AGUA	CaCl ₂						
1953	Olsen	Oeste dos EUA	Diversos	-	74	82	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	91	-	
1955	Amer	EUA	Diversos	91	-	83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1956	National	EUA	Diversos	-	-	49	38	35	-	18	-	31	-	-	-	-	-	-	
1957	Moser	EUA	Diversos	61	55	38	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-	-	-	
1958	Lathwell	New York	Diversos	76	42	-	-	-	-	49	-	-	-	-	-	-	-	-	
1960	Diest	Iowa	Diversos	79	-	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1961	Mittingly	Grã-Bretanha	Diversos	-	64	-	-	-	-	49	-	-	-	-	-	-	-	-	
1962	Andersen	Dinamarca	Diversos	-	85	-	-	-	-	-	49	-	-	29	-	-	83	-	
1963	Diest	New Jersey	Ácidos	-	71	59	-	88	-	21	67	74	-	-	-	-	-	-	
1963	Gupta	Inglaterra	Calcários	-	35	-	23	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	
1963	Susuki	Michigan	Diversos	66	32	12	-	-	54	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
1963	Williams	Escócia	Ácidos	-	42	36	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	41	
1964	Al-Abbas	Índia	Diversos	-	41	41	-	-	-	-	-	45	-	-	-	-	-	-	
1964	Manuca	România	Diversos	-	-	36	-	-	-	-	59	-	-	-	-	-	-	-	
1964	Blancher	Minnesota	Calcários	48	53	5	-	-	-	74	-	90	-	-	-	-	-	-	
			Não calc.	53	72	74	-	-	-	90	-	92	-	-	-	-	-	-	
1967	Baker	Pensilvânia	Ácidos	-	-	44	-	-	-	30	-	-	45	-	-	-	-	-	
1967	Gunary	Inglaterra	Diversos	69	-	-	-	-	-	-	-	-	59	-	-	-	41	56	
1967	Ozbek	Turquia	Diversos	81	79	77	52	-	-	-	-	76	-	-	-	-	74	-	
1967	Williams	Escócia	Ácidos	-	56	-	-	-	-	-	-	37	32	-	-	-	-	-	
1968-70	Balerdi e Palma 1/	América Central	Diversos	86	76	74	-	72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1968	Grigg	N. Zelândia	Ácidos	-	76	74	-	-	37	-	86	-	-	-	-	-	-	-	
1969	Ozbek 2/	Turquia	Ácidos	-	53	72	64	71	-	-	66	56	-	-	-	-	49	-	
			Alcalinos	-	76	46	55	0	-	-	49	34	-	-	-	-	30	-	
1970	Backe	Nigéria	Diversos	86	-	-	-	-	-	-	-	-	76	-	-	-	79	82	
1970	Ogot	Quênia	Diversos	-	27	-	-	19	-	7	23	-	-	-	-	-	-	-	
1971	Oteng	Gana	Diversos	-	22	-	2	-	32	19	0	36	-	-	-	-	-	-	
1972	Cabala	BA, Brasil	Diversos	-	60	-	-	49	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1973	Agbook	Nigéria	Diversos	-	-	86	81	4	88	64	-	38	-	-	-	-	-	-	
1973	Bhan	Índia	Alcalinos	-	57	0	11	-	11	-	-	0	-	-	-	-	-	-	
1973	Crisanto	Espanha, Inglat.	Calcários	77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88	88	
1973	Daughtrey	EUA	Ácidos	-	-	-	-	77	-	-	-	-	36	-	-	-	-	-	
1973	Dubey	Índia	Calcários	-	69	48	40	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	
1973	Walmsley	Índias Ocident.	Diversos	52	53	35	20	-	11	6	20	-	-	-	-	-	-	-	
1974	Cajuste	RS, Brasil	Diversos	-	76	79	-	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1974	Magalhães	RS, Brasil	Ácidos	68	-	-	-	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1974	Oto	Nigéria	Diversos	-	10	13	4	7	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	
1974	Sá	PE, Brasil	Diversos	-	29	29	16	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1974	Sarkar	Índia	Alcalinos	-	44	11	-	-	-	-	-	11	25	-	-	-	-	-	
1974	Srivastava	Índia	Alcalinos	-	71	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1975	Netwally	Egito	CaCO ₃ baixo	90	59	-	-	-	-	-	-	-	21	-	-	-	77	79	
			CaCO ₃ alto	92	64	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	79	81	
1976	Dalal	Austrália	Diversos 3/	56	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46	53	
			4/	29	50	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	36	58	
1976	González	Venezuela	Ácidos	-	47	62	-	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Neutros	-	18	37	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Alcalinos	-	51	27	-	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1976	Khan	Índia	Diversos 5/	-	61	79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			6/	-	51	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			7/	-	52	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1976	Ekpete	Nigéria	Diversos	-	87	47	68	-	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1976	Rojas	Chile	Diversos	64	50	41	47	77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1977a	Enwezor	Nigéria	Diversos	52	45	46	55	-	36	46	-	-	-	-	-	-	-	-	
1978	Abdelal	Egito	Diversos	82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74	-	
1978	Bowman	EUA	Calcários + Neutros	85	78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67	-	
1978	Eloff	EUA	Diversos	21	32	-	26	-	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	
1978	Kadeba	Nigéria	Diversos	66	12	19	-	-	46	-	-	30	-	-	-	-	-	-	
1978	Sibbesen	EUA	Diversos	90	86	-	-	-	39	-	-	-	51	-	-	-	75	81	
			Diversos	66	-	-	-	-	-	-	-	-	42	-	-	-	-	-	
1979	Massel	EUA	Diversos	60	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1980a	Holford	EUA	Diversos	-	56	59	-	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1980	Roche	EUA	Diversos	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	
1980	Rodrigues	Chile	Diversos	-	81	-	79	81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1981	Sanabria	Venezuela	Diversos	83	-	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1982	Adepoju	EUA	Alcalinos 8/	38	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Neutros 9/	38	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			10/	44	64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1982	Ayodele	Nigéria	Ácidos 2/	-	62	66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1982	Cabala	BA, Brasil	Ácidos	83	-	36	-	32	-	-	-	66	37	-	-	-	69	-	
1983	Bahia F ²	MG, Brasil	Ácidos	-	-	36	-	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1983	McClean	EUA, Bangladesh	Diversos	75	86	33	-	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1983	Murruki	EUA	Diversos	73	32	-	48	36	-	-	-	-	33	-	-	-	-	-	
1984	Aquino	Missori, EUA	Alcalinos	-	-	82	85	86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1985	Holford	EUA	Ácidos	-	14	31	24	37	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1986	Fullin	MG, Brasil	Ácidos	91	-	93	91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1986	Grande	MG, Brasil	Ácidos	96	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1986	Raij	SP, Brasil	Ácidos	96	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1988	Menon	EUA	Diversos	40	66	54	24	17	-	-	-	22	-	-	-	-	76	-	
1988	Volkweiss	Brasil	Ácidos	70	-	69	-	65	-	-	-	-	-	-	-	-	73	-	
																	76	-	
1989a	Menon	EUA	Diversos	-	-	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88	-	
1989b	Menon	EUA	Diversos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	-	

1/ A determinação pelo método da resina foi feita por Palma.

2/ Apenas parte dos dados citados.

3/ Absorção de P pela planta em 35 dias.

4/ Absorção de P pela planta em 150 dias.

5/ Absorção de P pela planta em 20 dias.

6/ Absorção de P pela planta em 40 dias.

7/ Absorção de P pela planta em 60 dias.

8/ P acumulado na parte (média).

9/ P acumulado nas raízes.

10/ P acumulado no total.

11/ Método de Volkweiss e Corey com difusão na vertical.

12/ Método de Volkweiss e Corey com difusão na horizontal.

A classificação dos extratores de P do solo conforme o critério de KAMPRATH & MATSON (1980), consiste em agrupar os métodos em quatro conjuntos, que são:

a) Soluções diluídas de ácidos fortes

Os ácidos comumente empregados como extratores de P do solo são HCl , HNO_3 e H_2SO_4 , em concentrações variáveis na faixa de 0,002N a 0,075N. O pH da solução geralmente encontra-se na ordem de 2 a 3. Os nitratos e cloretos podem ter um pequeno efeito na redução do P extraído, mas o sulfato tende a reduzir a readsorção do P dissolvido em soluções ácidas (NELSON *et alii*, 1953). Neste grupo enquadram-se os métodos do H_2SO_4 0,05N, Mehlich e H_2SO_4 0,5N.

b) Solução diluída de ácidos fortes adicionados com íon complexante

A solução ácida com íon complexante mais empregada é a mistura de HCl e NH_4F , o íon fluoreto atuando na formação de um forte complexo com íons Al (KAMPRATH & MATSON, 1980). A concentração do ácido tem variado na faixa de 0,025 a 0,1N, com a concentração de NH_4F em geral de 0,03N (BRAY & KURTZ, 1945).

c) Solução diluída de ácidos fracos

Entre as soluções de ácidos fracos contendo ou não sais, que são comumente empregadas para a extração de P estão aquelas que contêm ácidos cítrico, láctico e acético. O

primeiro extrator de fósforo através de soluções foi o ácido cítrico 1% (DYER, 1894). Nesse grupo enquadram-se as soluções de acetato de sódio 0,75N em ácido acético 0,5N a pH 4,8 (MORGAN, 1937), e lactato de amônio 0,1N em ácido acético 0,4N a pH 4,0 (EGNER *et alii*, 1960).

Os ânions orgânicos presentes nessas soluções têm influência na extração de dois modos, segundo KAMPRATH & MATSON (1980). Ânions, como citrato e lactato formam complexos com o fósforo. Os ânions orgânicos também podem substituir o P adsorvido no solo e prevenir a sua readsorção.

d) Soluções alcalinas tamponadas

A solução alcalina tamponada mais comumente usada na extração de P é a de bicarbonato de sódio, 0,5N, a pH 8,0, desenvolvida e preconizada para solos calcários por OLSEN *et alii* (1954).

O HCO_3^- atua efetivamente substituindo o P adsorvido no solo e reduzindo a atividade do cálcio em solução. A modificação mais conhecida no método de Olsen foi realizada por COLWELL (1963), o que alterou a relação solo/solução extratora para a razão 1:100. [A resina trocadora de ânions não se enquadra na presente classificação, devendo ser criado um quinto grupo.

Deve ser salientado ainda que, os métodos escolhidos e selecionados na Tabela 1, apresentam seus resultados experimentais influenciados pela técnica usada em trabalhos originais, tais como a relação solução/solo (PAAUW,

1971; COOKE & HISLOP, 1963; COLWELL, 1963; MAGALHÃES & GALIEGO, 1974), o tempo de equilíbrio do P no solo (BARROW & SHAW, 1977; GONÇALVES *et alii*, 1985), o tempo de agitação (FULLIN, 1986; MAGALHÃES & GALIEGO, 1974), a temperatura (HISLOP & COOKE, 1963) e a planta utilizada no caso do valor L.

2.3.2. Escolha de métodos - critérios e comparações

Para uma avaliação dos métodos existentes para a extração de fósforo dos solos foram consideradas a sua evolução e as correlações entre os teores de P extraídos pelas soluções mais importantes, com os resultados de ensaios biológicos medindo a absorção do elemento pelas culturas.

Para atingir esse objetivo foram consultados diversos trabalhos publicados, os quais relacionaram a resposta da planta ao fósforo, associada ao parâmetro de P no solo, tabulando-se os diversos coeficientes de determinação (r^2 ou R^2), expressos em porcentagem e que se encontram inseridos na Tabela 2. Na escolha dos vários trabalhos publicados consultados que foram selecionados para a avaliação dos extratores de P, adotaram-se os critérios estabelecidos por RAIJ (1978), que utilizou dados totais ou parciais dos vários ensaios, nos quais os autores mediram preferencialmente a quantidade do elemento absorvido do solo em ausência de adubação fosfatada.

Nos cálculos utilizaram-se os coeficientes de correlação e de determinação (r^2) obtidos pelos vários autores, mas sem atentar para a sua significância.

A partir dos valores dos coeficientes de determinação (r^2) entre as quantidades de fósforo absorvido pelas plantas e os teores de fósforo no solo (Tabela 2), foram calculadas as médias destes coeficientes (r^2), agrupando-se os dados em função da reação dos solos, sendo tais médias apresentadas na Tabela 3.

As comparações foram realizadas com certos cuidados, devido a variação no número de dados existentes sobre os vários métodos e a sua representatividade em termos estatísticos e de fertilidade dos solos.

Nota-se através do valor de r^2 , a superioridade do método de extração com a resina trocadora de íons sobre os demais métodos, exceto o método do papel de filtro impregnado com hidróxido de ferro. Esse método apresenta valores de R^2 semelhantes ao do método da resina, porém, o número de trabalhos com esse novo extrator ainda é pequeno e necessita de maiores estudos.

Possivelmente, o método de papel-Fe, por simular mais adequadamente a ação das raízes das plantas nos solos, a extração do fósforo por ele proporcionaria um melhor índice da disponibilidade de P nos solos para as plantas, do que os métodos puramente químicos como soluções extratoras, em análise de solos, presentemente utilizados para este fim

(VOLKWEISS & COREY¹).

Por sua vez, o método da resina trocadora de ânions permite um caminharmento do fósforo similar ao que ocorre na absorção pelas raízes, quando o fósforo sai da fase sólida do solo para a solução e, desta, para a raiz (RAIJ, 1981).

Constata-se que o método da resina forneceu, para maior parte dos trabalhos em que foi testado e, principalmente em solos ácidos, o maior valor médio para a porcentagem de variação de resposta a fósforo.

O emprego da diluição isotópica utilizando ³²P, expressos nos valores de E (sem planta) e de L (com planta), demonstrou ser uma técnica menos eficiente do que a resina na avaliação da disponibilidade de P em solos. O chamado fósforo isotopicamente trocável, por LARSEN (1952) e MCAULIFFE *et alii* (1948), em princípio deveria permitir a determinação do P lábil, mas nesse processo a condição de equilíbrio não é atingida, podendo, assim, não representar um processo similar ao do fósforo absorvido pelas raízes (FULLIN, 1986). Todavia, os valores de L e E em correlação com a absorção de P, superam as soluções extratoras, com as possíveis excessões dos métodos de Olsen e da resina trocadora de ânions.

¹ VOLKWEISS, S. J. & COREY, R. B. Método de extração de fósforo de solos controlado por difusão para avaliar sua disponibilidade para as plantas. Trabalho apresentado na 18ª Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, Guarapari, 1988.

Tabela 3 - Demonstração de valores médios da porcentagem de variação (r^2) da resposta ao fósforo explicada pela análise do elemento em solos, considerando o pH dos solos, em diversos estudos de seleção de métodos.

EXTRATOR DE P DO SOLO	NÚMERO DE TRABALHOS CONSULTA- DOS COM O MÉTODO ¹	DISTRIBUIÇÃO DE R^2 EM TIPOS DE SOLOS (EM RELAÇÃO À NATUREZA DA REAÇÃO)											
		SOLOS ÁCIDOS				SOLOS ALCALINOS E NEUTROS				SOLOS DIVERSOS			
		Nº DE DADOS	MÉDIA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	Nº DE DADOS	MÉDIA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	Nº DE DADOS	MÉDIA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
Resina	31	6	84.0	68	96	9	62.8	38	92	23	68.8	21	91
Olsen	45	9	46.8	14	86	17	51.7	18	76	32	57.6	10	87
Bray 1	42	11	55.3	31	93	10	24.8	0	74	30	47.6	2	86
Bray 2	19	3	59.7	24	91	5	42.8	5	89	14	44.2	4	81
Mehlich	25	10	55.5	16	88	5	37.8	0	86	13	41.4	4	81
Truog	13	3	32.0	29	37	1	11.0	11	11	9	45.2	7	88
Morgan	13	2	25.5	21	30	4	39.5	0	96	8	32.0	6	64
Egnér	09	3	73.0	66	86	1	49.0	49	49	6	28.7	0	59
CaCl ₂	12	5	36.0	32	47	3	18.0	8	25	9	41.2	17	76
Água	13	4	58.3	22	74	5	45.4	0	92	11	26.8	0	76
Papel Fe	04	2	74.5	73	76	-	-	-	-	3	74.7	60	88
Valor E	16	3	67.0	49	83	5	72.2	30	88	9	53.0	2	91
Valor L	08	1	41.0	41	41	3	82.7	79	88	6	60.3	52	81

¹ Trabalhos realizados em casa de vegetação.

Nota-se dentre os demais métodos, que o de Olsen apresenta resultados médios variando pouco na faixa de 47 a 58% (R^2), quando comparando se as diferentes condições de pH dos solos, o que indica uma certa versatilidade do método. Porém, verifica-se que o melhor desempenho do método de Olsen ocorre em solos calcários ou alcalinos, que se encontram ainda embutidos no grupo de solos denominado "diversos", sendo esta metodologia desenvolvida originalmente para essas condições por OLSEN *et alii* (1954).

Tomando-se os valores médios de porcentagem de variação (r^2) para os solos alcalinos e diversos, a ordem de explicação do "P disponível" pelos vários extratores de fósforo seria: Olsen, Bray 2, Bray 1, Mehlich, Morgan, Egner, Água, Truog e CaCl_2 , com pequenas diferenças entre eles.

Já em condições de solos ácidos, utilizando-se os valores médios da porcentagem de variação, a ordem seria: Egner, Água, Truog e Morgan, mas o nível de amostragem destes dados é bastante restrita. Todavia, este resultado mostra uma tendência positiva dos métodos de Egner e Água na determinação do fósforo "disponível" em solos tropicais.

Deve ser salientado que, apesar da desuniformidade dos dados (expressos pela amplitude de variação entre os valores de máximo e de mínimo de r^2) e também pelas pequenas diferenças entre métodos, tratam-se geralmente de técnicas que avaliam preferencialmente o fator quantidade (RAIJ, 1978), que é o parâmetro do solo mais importante para

explicar a maior parte da variação do efeito de P do solo para culturas (GUNARY & SUTTON, 1967; RAIJ, 1978).

DALAL & HALLSWORTH (1976) verificaram que o melhor parâmetro considerado isoladamente foi o fator quantidade, representado por P extraído com solução de Na_2CO_3 0,1M em NaOH 0,25M, explicando 75% da variação da absorção de P aos 150 dias pelo trigo. Quando, considerado o fator capacidade, em conjunto com o fator quantidade, a possibilidade de previsão aumentou para 86%.

Porém, KHASAWNEH & COPELAND (1973), verificaram que a taxa de absorção de P é proporcional ao teor "disponível" do elemento próximo as raízes, e é relacionada com os parâmetros quantidade, intensidade e o poder tampão dos solos, e pode ser mensurada pela combinação efetiva desses parâmetros.

Todavia, HOLFORD & MATTINGLY (1976), relatam dois problemas fundamentais envolvidos na avaliação do fósforo disponível no solo: a dificuldade em se medir, com um extrator químico, todo o fósforo disponível no solo para as plantas e a impossibilidade, com esse mesmo extrator, de se medir a capacidade-tampão do solo; daí, o extrator não indicaria a capacidade do solo em manter o fósforo na solução durante o período de crescimento do vegetal.

Os métodos da resina trocadora de ânions e papel - $\text{Fe}(\text{OH})_3$ serão melhor detalhados na revisão, devido serem técnicas muito promissoras e cujo modo de extração do P simula o processo pelo qual as raízes das plantas absor-

vem-no da solução do solo.

O método da resina trocadora de ânions foi introduzido por AMER *et alii* (1955). Os autores verificaram que no sistema em suspensão, em condições apropriadas, o P adsorvido pela resina era independente de suas propriedades e dependente somente da dissolução do P da fase sólida do solo. O controle da temperatura é importante, porque a reação do P com a resina é influenciada pela temperatura (COOKE & HISLOP, 1963), no processo de extração.

BACHE & IRELAND (1980), estudando as curvas de dessorção de fósforo em solos, concluíram que o P adsorvido pela resina é função do tempo de agitação, quantidade de resina, concentração de sais, da dessorção aniônica, do pH e das concentrações de cálcio e fósforo em solução.

BARROW & SHAW (1977), relatam que no sistema resina-solo-solução em equilíbrio, a concentração de P em solução era diretamente proporcional ao P adsorvido no solo, e inversamente proporcional ao peso de resina e o volume da solução. No sistema, resina-solo-solução, a concentração de fosfato em solução era importante na determinação da quantidade de fósforo extraído do solo. Consequentemente, o P extraído incrementa a medida em que aumenta o volume de água e peso de resina, e decresce com a colocação da resina em saquinhos de poliéster.

A extração de P pela resina, quando agitada dentro dos saquinhos de poliéster em meio fortemente básico e tamponado, era correlacionada significativamente com o

conteúdo de P nos tecidos das plantas (SMITH, 1979).

A associação do método da resina com vários níveis de saturação com bicarbonato e cloreto, foi estudada inicialmente por SIBBESEN (1978), que verificou que o bicarbonato de sódio 0,5M saturando a resina em 75%, proporcionava um efeito satisfatório de tamponamento no método, devido a presença de HCO_3^- na suspensão.

Desde o método original da resina descrito por AMER *et alii* (1955) que era pouco prático, ocorreram uma série de evoluções no processo de extração, principalmente no sentido de desagregar o solo e posterior separação terra e resina. A técnica descrita por HISLOP & COOKE (1968), traz o inconveniente das amostras de terra necessitarem de uma moagem. SIBBESEN (1977) descreve um método em que a resina é colocada em saquinhos de poliéster, favorecendo, desse modo, a sua separação do solo, mas mantendo ainda a moagem. ZUNINO *et alii* (1972) apresentam um método semelhante, mas sem a moagem.

Posteriormente, RAIJ & QUAGGIO (1983), descrevem método da resina, que consiste em desagregar o solo com o auxílio de uma bolinha de vidro para posterior agitação da suspensão solo-resina-água, durante 16 horas.

FULLIN (1986), estudando variações de método da resina, propôs o seguinte procedimento: agitação, por 1h, da suspensão solo-resina-água, sendo 2 cm^3 de solo, e 6 cm^3 de resina com 75 ml de água destilada, recuperando o fósforo adsorvido pela resina com 25 ml de HCl 0,5N, separação do

extrato da resina por centrifugação e determinação do fósforo colorimetricamente. O método da resina "oficial" no Estado de São Paulo é descrito por RAIJ *et alii* (1986); neste caso, o solo é desagregado por agitação com o auxílio de "bolinhas" de vidro. A seguir, é feita a transferência do material desagregado, que é colocado em contato com água, em mistura com resina trocadora de íons. Após 16 horas de agitação são feitas a separação da resina por peneiragem e a extração de P, Ca, Mg e K contido na resina.

Em estudos anteriores, quando o período de agitação da suspensão solo-resina-água era ainda de 2 horas, RAIJ *et alii* (1984) realizaram alguns ensaios de campo, comparando quatro métodos de extração de P dos solos (H_2SO_4 0,05N, Bray 1 modificado, Olsen, e Resina) com adubação fosfatada em 16 ensaios de algodão e 16 com milho. Para as culturas em conjunto, os valores absolutos dos coeficientes de determinação (r^2), para os quatro métodos foram: a) 0,466** (H_2SO_4 0,05N), b) 0,423** (Bray 1), c) 0,153* (Olsen) e d) 0,643** (Resina), indicando a superioridade do método da resina.

Em trabalhos posteriores, RAIJ *et alii* (1986), demonstraram uma superioridade ainda maior do método da resina ($r^2 > 80\%$) em 28 ensaios de campo com algodão em comparação a solução de H_2SO_4 0,05N ($r^2 < 0,70$). Em vasos, verificou-se para a cultura de do arroz a superioridade do método da resina sobre o extrator de Mehlich.

Em solos ácidos que contém uma grande quantidade de óxidos de Fe e Al, a calagem efetiva incrementa a disponibilidade de fósforo às plantas. Entretanto, segundo RAIJ & QUAGGIO (1990), comumente o uso de P extraído do solo por vários métodos falham em representar o incremento de P no solo pela calagem. Com este objetivo, os autores investigaram amostras de solos com os resultados de análises das plantas (Folhas) em culturas que receberam a aplicação de calcário em ensaios de soja, girassol e feijão. As análises da folha após aplicação de calcário indicaram significativo incremento do P nos tecidos. Todavia, o fósforo determinado pelos extratores de Mehlich e Bray 1 não indicaram o efeito do calcário, e os resultados do método de Olsen deram uma correlação negativa com o fósforo no solo, com a aplicação do corretivo em dois experimentos, sendo a técnica da resina a que refletiu o comportamento da planta em termos de P no solo quando aplicado o calcário, o que demonstra a superioridade do método.

O método de papel de filtro impregnado com hidróxido férrico, por sua vez, segundo MENON *et alii* (1989b), pode ser relacionado com o comportamento do P no solo, já que o óxido de ferro (Fe-gel) impregna o papel (Pi) em forma amorfa (não cristalizada), isto é, uma superfície de área elevada para a adsorção do P do solo. O Fe amorfo reage imediatamente com os íons P em solução e forma P-Fe insolúvel no papel Pi. Este papel Pi funcionaria como um depósito contínuo de P, com uma depressão de P da solução

pelas plantas. Porque a dessorção ocorre na superfície da partícula do solo para o papel P_i , que é controlado pelo processo de difusão, a extração P_i simula o processo das plantas absorverem fósforo pelas raízes, a partir da solução e controlado pelo mesmo processo.

O trabalho de MENON *et alii* (1988) descreve o uso de hidróxido de ferro impregnando o papel de filtro na forma de tiras de papel tratado $(Fe(OH)_3)$ e com o auxílio de solução da $CaCl_2$ 0,01M durante agitação, para extrair P dos solos. Nesse estudo, os autores verificaram que o melhor método para avaliar o P "disponível" das plantas (P acumulado na parte aérea/vaso) era o papel- $Fe(OH)_3$, sendo respectivamente em porcentagem de variação (r^2) em ordem decrescente de explicação no sentido de: Papel-Fe (75%), Olsen (66%), Bray 1 (54%), Resina (39%), Bray 2 (24%) e Mehlich (17%).

Em trabalho posterior, MENON *et alii* (1989a) procuraram testar vários níveis de mistura de hidróxidos de Fe e Al impregnados em papel de filtro, para extrair P dos solos, verificando que apenas o tratamento quando impregnado com hidróxido de ferro era eficiente nesta extração.

Por sua vez, VOLKWEISS & COREY¹ desenvolveram uma técnica de análise em que a extração do P era controlada por sua difusão no solo, através do emprego de papel- $Fe(OH)_3$.

¹ VOLKWEISS, S. J. & COREY, R. B. Método de extração de fósforo de solos controlado por difusão para avaliar sua disponibilidade para as plantas. Trabalho apresentado na 18ª Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, Guarapari, 1988.

em íntimo contato com o solo úmido. O método utiliza como extrator de fósforo tiras de papel de ferro impregnadas com óxidos de Fe e/ou Al. O processo de extração consistia em enterrar lâminas extratoras na terra e adicionar água até a saturação, succionando a vácuo o excesso da água e deixando as lâminas reagirem com os solos por um período de 24 ou 48 horas. Após este período, as lâminas eram separadas dos solos, lavadas e, seu conteúdo de fósforo (extraído do solo) determinado. Na avaliação do processo de difusão do fósforo utilizavam-se papéis- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ colocados na posição vertical (P difusão - v) e na horizontal (P difusão - h), que foram expressos em mg P/m^2 de superfície de contato direto com os solos. De acordo com a Tabela 2, verifica-se que os métodos de P difusão h e v apresentaram resultados semelhantes ao método da resina para explicar a porcentagem de variação (r^2) da resposta a fósforo pelas plantas.

Em virtude dos valores promissores obtidos pelo método de Papel-Fe foi incluída tal técnica no presente trabalho.

2.3.3. Histórico da cultura de cana-de-açúcar em relação ao extratores de fósforo do solo, no Brasil

Os primeiros ensaios com cana-de-açúcar no sentido de encontrar um extrator de fósforo do solo para diagnosticar a necessidade de adubação da referida cultura,

foram realizados no Brasil por STRAUSS (1954), que comparou os teores totais do elemento com as frações extraídas por KOH 0,5N e por HCl 0,5N, que na época eram usados no Havaí. Nesses ensaios obtiveram boas correlações com a produção relativa da cana-de-açúcar, em ambos os extratores testados, sugerindo o emprego da relação fósforo/argila para melhorar a confiabilidade da recomendação.

Na década de 70, no Estado de São Paulo, o extrator mais utilizado para aferir as necessidades da adubação fosfatada era a solução de H_2SO_4 0,05N, ou ainda, como no resto do País, o extrator de Mehlich (Carolina do Norte), solução de HCl 0,05N e H_2SO_4 0,025N (NELSON *et alii*, 1953).

Posteriormente, face a constatação de uma baixa correlação entre os resultados de extrator H_2SO_4 0,05N com os resultados da pesquisa com a fertilização fosfatada e teores de P extraídos muito baixos dos solos. BITTENCOURT *et alii* (1978) propuseram o uso de solução mais concentrada, ou seja, a solução de H_2SO_4 0,5N para aferir a quantidade de adubo fosfatado na cultura de cana-de-açúcar.

MANHÃES & GLÓRIA (1980), para solos do Rio de Janeiro, confirmaram a boa correlação ($r^2 > 70\%$) da solução de H_2SO_4 0,5N e a disponibilidade de fósforo para a cana-de-açúcar.

Pesquisas posteriores, conduzidas por MANHÃES *et alii* (1981), em solos dos Estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais (Zona da Mata), verificaram correlações entre os teores de fósforo extraídos com H_2SO_4

0,5N, e as produções relativas foram calculadas por análise de regressão, usando-se a equação de Mitscherlich modificada, obtendo-se um coeficiente de determinação (r^2) de 0,77.

Em função desses resultados, o IAA-PLANALSUCAR estabeleceu, através de um grande número de experimentos de campo, uma calibração desse extrator; chegou então à recomendação de adubação fosfatada da cana-de-açúcar para os Estados do Sul e Sudeste do País.

Os extratos de soluções ácidas apresentam com grande vantagem para o uso rotineiro o fato de possibilitarem obtenção de extratos límpidos (RAIJ *et alii*, 1984) e a facilidade de execução da análise, devido a maior velocidade na decantação das suspensões, o que permite a eliminação da filtração.

De acordo com RAIJ *et alii* (1984) os referidos extratores apresentam dois grandes defeitos: a baixa extração de fósforo em solos argilosos, principalmente os latossolos roxos, mesmo em condições de suprimento adequado do nutriente; e a extração do fósforo de eventuais resíduos de fosfatos naturais existentes no solo (RAIJ, 1978).

Existem vários métodos de extração de fósforo no solo, que são pouco afetados por resíduos de fosfatos naturais, nos quais predominam materiais com características de lenta reatividade no solo (RAIJ *et alii*, 1982). Entre os referidos métodos, o que emprega a resina trocadora de íons (RAIJ, 1978), bicarbonato de sódio 0,5N a pH 8,5 ou Olsen (FEITOSA & RAIJ, 1976), a solução de ácido clorídrico 0,25N

com fluoreto de amônio 0,3N ou Bray I (RAIJ & DIEST, 1980) e o papel de filtro impregnado com hidróxido de ferro (MENON *et alii*, 1989b).

No Estado de São Paulo, a partir da revisão feita por RAIJ (1978), teve início o estudo sistemático do uso da resina trocadora de íons para aferir a disponibilidade de fósforo para diferentes culturas e, entre elas, a da cana-de-açúcar. O método em apreço é atualmente, na prática, o método "oficial" de análise de solos neste Estado.

Entretanto, devido a ação do PLANALSUCAR, que há alguns anos atrás era o principal agente da pesquisa com cana-de-açúcar no País existe, para caso específico, uma controvérsia sobre o uso do extrator mais adequado para essa cultura.

2.4. Comentários sobre os trabalhos revisados

As técnicas de avaliação da disponibilidade de fósforo no solo podem ser agrupadas em dois tipos, aquelas baseadas em extratores puramente químicos como soluções ácidas (Mehlich, H_2SO_4 0,05 e 0,5N), alcalinas tamponadas (Olsen) e com íon complexante (Bray 1 e 2); e as que procuram simular o que ocorre com as raízes no solo, como são os casos da resina e do papel- $Fe(OH)_3$.

Em decorrência da extensa literatura consultada (72 trabalhos), relacionando os teores de P extraídos pelas diversas técnicas com os resultados de ensaios biológi-

cos através dos conteúdos de fósforos absorvidos pelas culturas, torna-se necessário proceder a uma avaliação mais detalhada, cuidadosa e crítica do conjunto de dados adotando-se, para tanto, critérios estatísticos adequados.

Verifica-se que a maioria destas técnicas de extração de P não foram avaliadas intensivamente e com níveis de correlação com as referências biológicas bastante variáveis, além dos diversos autores estudarem combinações distintas de métodos. Tal fato dificulta sobremaneira proceder-se uma simples comparação de médias absolutas obtidas pelas técnicas, entre si.

Anteriormente, procurou-se agrupar os valores de r^2 obtidos pelos diferentes métodos em decorrência da reação dos solos (ácido, neutro, alcalino, e diversos) estabelecendo as suas respectivas faixas de explicação ao fósforo absorvido pelas plantas em grupos mais homogêneos (pH).

As comparações podem ser realizadas no sentido de detectar tendências e aferir imperfeições grosseiras das metodologias, devido à amplitude de variação no número de dados e à representatividade variável dos diversos métodos.

Todavia, este cuidado é necessário para aferir o "P disponível" pelos vários extratores, mas não é o suficiente para chegar-se a afirmações mais conclusivas sobre o assunto.

Para se atingir tal objetivo, procedeu-se uma comparação dos diversos métodos em duplas, considerando os

pares de resultados (r^2) obtidos pelos extratores nas condições experimentais em que foram testados conjuntamente. A partir destes pares de dados, realizaram-se algumas análises estatísticas sobre os valores de r^2 , através de correlações lineares e contraste de médias (teste t) entre os métodos.

Face aos dados obtidos pelos vários autores, submetidos às análises estatísticas e anteriormente revisados de forma crítica, possibilitou-se chegar às conclusões que se seguem.

A resina trocadora de íons foi sempre superior aos métodos de Mehlich, e de CaCl_2 , ao nível de 5% de probabilidade, no teste t.

A resina foi geralmente ainda superior às técnicas de Olsen, Bray 1, Bray 2, Truog, Égner, Água e Valor E, ao nível de 25% de probabilidade, no teste t.

A eficiência dos métodos de Morgan e Valor L não foi diferente da resina, mas provavelmente melhor explicado pela amostragem restrita, do que em relação às qualidades propriamente ditas dos métodos.

O extrator Bray 2 e os valores E e L foram os melhores correlacionados com o "P disponível" pela resina, com níveis de correlação (r) na ordem de 0,81, 0,67 e 0,57, respectivamente.

Os teores de P extraídos com as soluções de Mehlich, Morgan e Água obtiveram as piores correlações e negativas com a resina, com os respectivos valores de r de -0,16, -0,11 e -0,29.

Olsen, Bray 1, Truog e CaCl_2 apresentaram um nível de correlação intermediário com a resina, sendo estes coeficientes respectivamente de 0,35, 0,48, 0,42 e 0,23.

A técnica de Olsen, por sua vez, foi ainda bem correlacionada com o P extraído pelo Bray 2, Bray 1, Mehlich, Égner e os valores de P isotopicamente trocável (L e E), tendo um nível de correlação de 0,74, 0,62, 0,66, 0,59, 0,69 e 0,68, respectivamente. Estes resultados indicam que os citados métodos tem uma semelhante capacidade de extrair P do solo, principalmente em solos mais alcalinos.

Os métodos de Morgan, Truog, Água e CaCl_2 correlacionaram muito pouco com os teores de P extraído pela resina e Olsen, o que evidencia a baixa eficiência dos referidos métodos.

Entretanto, existem novas técnicas, como o papel com Fe(OH)_3 que não foram contempladas na literatura e/ou a sua pouca ocorrência não possibilitou uma análise adequada.

Por outro lado, ocorre no caso particular da cultura de cana-de-açúcar, a recomendação do uso da solução de H_2SO_4 0,5N para aferir a necessidade de adubação fosfatada, conforme preconizava o IAA/PLANALSUCAR.

Em virtude desta particularidade da cultura e de novas técnicas promissoras, torna-se oportuno avaliar a eficiência dos métodos do H_2SO_4 0,5N, papel- Fe(OH)_3 e resina (IAC), em diagnosticar a disponibilidade de fósforo em solos canavieiros.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para fazer a comparação de extratores de fósforo, foram selecionados vinte solos, com características diversas. Cultivou-se a cana-de-açúcar em vasos e determinou-se as correlações entre o fósforo absorvido pelas plantas, que foi considerado a referência de P disponível, e os valores no solo obtidos com os diversos processos de extração.

3.1. Solos

Para o ensaio foram escolhidos 20 (vinte) solos com diferentes teores de fósforo disponível, de origens distintas, a grande maioria cultivadas com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

As principais características físicas desses solos estão inseridas na Tabela 4, onde se encontram resultados médios (2 repetições) de cada solo, mostrando uma acentuada variabilidade na textura entre eles.

Para a escolha dos solos testados efetuou-se uma avaliação preliminar de 29 tipos de solo, procedendo-se a análise química completa e a dosagem do P pelos principais

extratores. Os vinte solos escolhidos têm as suas características apresentadas na Tabela 5, através da qual constata-se, que originalmente, existe grande variabilidade de teores de fósforo extraído do solo e, em alguns casos, valores relativamente baixos de saturação de bases (V%).

Visando evitar a interferência da acidez natural dos solos na disponibilidade de fósforo às plantas, nos casos de solo de valor inferior a 50%, procedeu-se a sua correção utilizando como critério elevar a saturação de bases a níveis considerados satisfatórios (acima de 50%), baseado na fórmula de necessidade de calagem do IAC (RAIJ, 1987). (A elevação da saturação de bases foi realizada com a incubação da mistura calcário dolomítico/solo, com período de antecedência de 2 meses, mantendo-se a umidade da mistura através de cobertura com lona plástica.

O calcário dolomítico utilizado no ensaio apresentava um poder de neutralização (PN) de 83,1%, e poder relativo de neutralização total (PRNT) de 63,8%.

3.2. Instalação e Condução do Ensaio

Para o experimento foram utilizados vasos plásticos com capacidade para 5,5 litros de solo; tal vaso é ilustrado na Figura 1. Conforme se observa na mesma, os vasos são dotados de um reservatório de água no fundo de visor de controle e de fios de nylon que colocados em contato com o solo funcionam com alimentadores de água, por capilarida-

de, a água passa do reservatório para a superfície do solo colocado em contato na parte superior do vaso. Tal recipiente possibilita manter um fluxo de água ascendente, no sentido do reservatório para a superfície do solo, o que evita o inconveniente de pesar constantemente os vasos para repor a água evaporada.

A respeito da avaliação dessa técnica de cultivo em vasos, o trabalho de BATAGLIA (1989), mostra a sua maior eficiência em relação ao método de pesagens periódicas dos vasos.

Em fase inicial de condução do ensaio, procedeu-se a germinação de gemas destacadas da variedade SP 70-1284, em canteiro de areia lavada instalado ao ar livre.

As gemas pré-germinadas (com uma semana e meia após o plantio inicial) foram colocadas nos vasos, previamente preenchidos com 6 kg de solo (base seca).

Durante todo o período de cultivo, o teor de umidade dos solos foi mantido próximo à da capacidade de campo, conforme permite a técnica utilizada e já descrita anteriormente.

Na ocasião do plantio das gemas pré-germinadas, foram feitas aplicações de solução de micronutrientes, na base de 10 ml/kg de solo, ou seja, 60 ml da solução/vaso, que assim receberam 858mg de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 456mg de $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 240 mg de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 240 mg de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ e 6mg de $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$.

A complementação de nitrogênio e potássio foi calculada em função de uma estimativa de produção de 80 gramas de matéria seca por vaso, e adotando-se uma composição média da parte aérea da cana-de-açúcar nos 6 meses de 0,8% N e 1,0% de K (ORLANDO, 1978).

Para realizar esta complementação, foi preparada solução de nitrato de amônio e cloreto de potássio, contendo 20 mg de N e 39,7 mg de K por mililitro.

As adições dessa solução aos vasos foram feitas aos quinze e trinta dias após o plantio das gemas, sendo colocados 10 ml/vaso em cada aplicação. Ainda foi feita uma adição para complementar a dosagem de nitrogênio, aos 30 dias, com 5,0 ml de solução de sulfato de amônio (48 mg N/ml).

A colheita foi realizada 75 dias após o plantio, cortando-se a parte aérea da planta rente ao solo. O material verde foi separado em partes aérea e subterrânea por planta (vaso). A seguir, os materiais foram secados à temperatura de 65°C, até peso constante. Foram determinados os pesos dos materiais secos e moídos.

A análise do fósforo foi feita mediante preparo do extrato nítrico-perclórico, e utilizando o método colorimétrico do amarelo do vanadatomolibdato, seguindo a técnica recomendada pelo Departamento de Química da ESALQ/USP (SARRUGE & HAAG, 1974).

Figura 1 - Esquema do vaso utilizado na experimentação.

Tabela 4 - Resultados de algumas características físicas gerais dos solos utilizados no ensaio.

Nº DE AMOSTRAS	IDENTIFICAÇÃO		GRANULOMETRIA					SILTE (%)	ARGILA (%)	DENSIDADE DA T. F. S. A. ¹ (g/cm ³)
			FRAÇÕES DE AREIA (%)							
			MUITO GROSSA	GROSSA	MÉDIA	FINA	MUITO FINA			
01	PVa laras	(PVa-1)	0,14	0,71	16,87	37,63	30,83	1,80	12,20	1,03
02	AQ, podzólica	(AQ-1)	1,49	10,23	24,07	28,20	12,43	11,38	12,20	1,26
03	TE	(TE-1)	0,43	1,71	6,50	12,45	9,11	18,30	51,80	1,33
04	Podzólico Amarelo	(PA-1)	2,20	10,90	23,35	28,07	12,12	7,23	14,00	1,37
05	Podzólico Amarelo	(PA-2)	3,85	24,65	33,21	17,35	5,00	1,75	14,10	1,38
06	PVa, vértico	(Na-2)	8,29	16,41	24,38	15,83	6,41	8,80	19,80	1,17
07	AQ	(AQ-2)	1,50	0,77	22,32	44,34	15,80	2,72	9,90	1,26
08	Vertissolo	(Vert.)	0,57	2,67	3,67	3,17	3,50	23,00	63,40	1,02
09	LRd	(LR-1)	1,16	4,30	8,40	8,73	6,50	18,04	52,90	1,36
10	Cb/Li	(Cb/Li)	0,41	5,10	27,16	35,18	17,23	2,62	12,30	1,33
11	PV	(PV-1)	0,59	7,31	4,35	22,91	6,51	6,16	61,80	1,19
12	LVA	(LVa)	0,04	0,40	27,56	45,76	9,98	12,20	6,50	1,08
13	LRd	(LR-2)	0,55	6,63	12,80	12,10	6,90	21,80	39,20	0,96
14	LR ácido	(LR-3)	0,14	1,20	18,09	31,68	8,79	10,85	28,80	1,32
15	TR latossólica	(TR1)	0,14	0,81	1,88	5,09	4,86	14,48	73,20	1,22
16	AQ	(AQ-3)	0,87	3,68	29,01	42,06	11,97	1,52	10,90	1,33
17	TE	(TE-2)	1,13	3,09	11,99	12,02	7,87	15,22	48,70	1,29
18	LVEd	(LVe)	0,07	0,20	27,59	31,41	7,83	8,22	24,70	1,15
19	PVa	(PVa-3)	0,18	1,86	23,55	36,42	8,57	7,67	19,70	1,12
20	LRd	(LR-4)	0,21	1,26	9,86	16,17	8,00	11,10	53,90	1,37

¹ T. F. S. A. = Terra Fina Seca ao Ar.

Tabela 5 - Resultados de algumas características químicas gerais dos solos esco-
lhidos no ensaio (tratamentos).

Nº DE AMOSTRAS	IDENTIFICAÇÃO		M. O. (%)	FÓSFORO ([*] µg/cm ³) (^{**} µg/g)			pH		K	Ca	Mg	H+Al	S ⁽¹⁾	T ⁽²⁾	V ⁽³⁾	(%)
				RESINA [*]	H ₂ SO ₄ ^{**} 0,05N	H ₂ SO ₄ ^{**} 0,5N	H ₂ O	CaCl ₂ 0,01N								
01	PVa laras	(PVa-1)	1,0	28	75	121	5,8	4,9	0,40	1,7	0,5	1,9	2,6	4,5	58	
02	AQ, podzólica	(AQ-1)	1,3	5	7	10	6,7	6,1	0,16	1,6	0,6	1,5	2,3	3,9	60	
03	TE	(TE-1)	0,8	4	5	19	6,0	5,4	0,21	1,7	0,5	1,9	2,4	4,3	56	
04	Podzólico Amarelo	(PA-1)	1,5	4	6	5	5,0	4,2	0,30	2,0	0,8	1,2	3,1	4,3	72	
05	Podzólico Amarelo	(PA-2)	1,3	9	18	16	6,2	5,4	0,25	1,9	0,4	2,1	2,6	4,7	55	
06	PVa, vértico	(PVa-2)	1,3	12	15	29	6,1	4,9	0,25	1,9	0,4	2,1	2,6	4,7	55	
07	AQ	(AQ-2)	1,0	10	17	45	5,6	5,0	0,07	2,5	2,1	4,5	5,0	9,5	53	
08	Vertissolo	(Vert.)	3,1	16	8	43	6,1	5,8	0,25	21,0	5,0	2,7	26,3	29,0	91	
09	LRd	(LR-1)	2,7	25	35	45	5,6	5,0	0,51	2,8	0,9	4,3	4,2	8,5	50	
10	Cb/Li	(Cb/Li)	0,7	6	10	19	5,8	5,3	0,24	1,9	1,1	2,2	3,2	5,4	60	
11	PV	(PV-1)	2,1	40	30	111	5,4	4,9	0,74	4,2	1,2	4,5	6,1	10,6	58	
12	LVA	(LVa)	1,0	20	23	26	5,0	4,5	0,09	0,4	0,7	2,6	1,2	3,8	32	
13	LRd	(LR-2)	1,5	5	2	18	5,7	5,3	0,06	0,6	0,5	1,9	1,2	3,1	39	
14	LR ácido	(LR-3)	2,4	26	79	136	5,8	5,3	0,32	2,3	0,9	2,3	3,5	5,8	60	
15	TR latossólica	(LR1)	3,0	18	5	41	7,2	6,2	0,36	18,6	5,0	1,5	24,0	25,5	94	
16	AQ	(AQ-3)	1,5	9	16	19	6,2	4,9	0,57	1,4	0,5	2,0	2,5	4,5	56	
17	TE	(TE-2)	2,2	71	142	197	5,6	4,8	0,23	2,9	1,0	3,0	4,1	7,1	58	
18	LVEd	(LVe)	1,4	11	17	37	5,4	4,8	0,43	1,4	0,5	2,5	2,3	4,8	48	
19	PVa	(PVa-3)	0,7	6	1	22	5,8	5,4	0,10	1,7	0,7	2,6	2,5	5,1	49	
20	LRd	(LR-4)	2,1	22	11	52	5,5	4,9	0,96	1,6	0,1	2,5	2,2	4,7	47	

¹ Soma de base (S) = Ca+Mg+K e P (em meq/100 cm³ TFSa);

² Capacidade de troca catiônica (CTC ou T), que equivale ao somatório S+H+Al;

³ Saturação de bases = S x 100/T.

3.3. Análises físico-químicas dos solos (métodos)

3.3.1. Análises físico-químicas de caracterização dos solos

Para a obtenção das principais características físico-químicas desses solos, já apresentadas anteriormente na Tabela 5, foram utilizados os procedimentos analíticos abaixo descritos:

- a) **Análise granulométrica.** Seguiu-se o método descrito por CAMARGO *et alii* (1986), no qual determina-se na suspensão de solo, com o auxílio de uma pipeta, o teor de argila da amostra, sendo o teor de silte calculada por diferença em relação à porcentagem de areia (obtida por peneiragem);
- b) **Densidade da terra fina seca ao ar (g/cm^3).** Obtida por pesagem da terra fina seca ao ar da amostra contida em recipiente de volume conhecido ("cachimbo" de 10 cm^3);
- c) **pH em água.** Através do método descrito por CATANI & JACINTHO (1974), no qual se utilizou a relação de terra/água destilada de 1: 2,5 e leitura com eletrodo combinado de vidro;
- d) **pH em CaCl_2 0.01M.** De acordo com método descrito por RAIJ & QUAGGIO (1983), no qual foi utilizada a relação

terra/solução de cloreto de cálcio centimolar de 1:2,5 e leitura com eletrodo combinado de vidro;

e) Extração de potássio, cálcio e magnésio com auxílio de resina trocadora de íons. Empregando-se o método de extração por resina, proposto por RAIJ *et alii* (1986), o qual é descrito adiante para a extração do fósforo pela resina (ítem 3.3.2. d);

f) Acidez total. Método descrito por RAIJ & QUAGGIO (1983), baseado em medidas do pH de uma suspensão do solo com solução tampão SMP. Pela redução do pH de uma suspensão SMP original avalia-se o teor de H + Al do solo.

g) Matéria orgânica. Trata-se de método descrito por QUAGGIO & RAIJ (1983), consistindo na digestão de 1 cm³ de terra com 10 ml de solução de Na₂Cr₂O₇ 4N e 10N em H₂SO₄, com agitação, a frio, seguida de determinação colorimétrica. Os valores de matéria orgânica foram obtidos de uma curva padrão preparada com uma série de amostras padrões previamente analisadas pelo método de Walkley-Black;

h) Alumínio trocável. Método descrito por RAIJ *et alii* (1987), baseado na extração com solução de KCl 1N, baseado em promover uma troca iônica pelo contato de 10 cm³ de terra em erlenmeyer de 125 ml com 100 ml de

solução extratora de KCl 1N, agitando-se por 5 minutos e deixando decantar a suspensão durante a noite. No dia seguinte, pipetou-se 25 ml do extrato sobrenadante. Acrescentou-se 3 gotas de solução de azul de brometol a 1%. Titulou-se com solução de soda padronizada (Na OH 0.025N), calculando-se por estequiometria o valor correspondente em meq Al^{+} /100 cm^3 de solo.

3.3.2. Extração e determinação de fósforo

Para o estudo de disponibilidade de fósforo, os solos foram analisados pelos seguintes métodos:

- a) Extração com solução de H_2SO_4 0,05N. Trata-se do método utilizado no Estado de São Paulo por várias décadas (CATANI & GARGANTINI, 1954) e descrito recentemente por RAIJ & ZULLO (1977), incluindo alteração da relação original solo: solução de 4 g em 100 ml. Para a extração, procedeu-se a agitação de 10 cm^3 de terra com 100 ml de solução H_2SO_4 0,05N, por cinco minutos. A suspensão foi deixada decantar, e retiradas as alíquotas para análise.
- b) Extração com solução de H_2SO_4 0,5N. Foi utilizado um método em uso no país para a cultura de cana-de-açúcar (MANHÃES *et alii*, 1981; MANHÃES & GLÓRIA, 1980) e descrito originalmente por BITTENCOURT *et alii* (1978).

Para a extração, procedeu-se a agitação de 10 cm³ de terra em 100 cm³ de solução de H₂SO₄ 0,5N, por quinze minutos. Após a extração, filtrou-se através de papel Whatman nº 42 e foram retiradas alíquotas para análise.

c) Extração com extrator de Mehlich ou "Carolina do Norte". Foi empregado o método para aferir a necessidade de adubação fosfatada mais utilizado no país (exceto em São Paulo), que consiste no uso da solução de HCl 0,05N e H₂SO₄ 0,025N (NELSON *et alii*, 1953). Para a extração, procedeu-se a agitação de 10 cm³ de terra em 100 cm³ de solução extratora de Mehlich (HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N) por quinze minutos (VETTORI, 1969). Após a extração, filtrou-se as amostras em papel Whatman nº 42 e foram retiradas alíquotas para análise.

d) Extração com resina trocadora de íons. Utilizou-se método da resina trocadora de íons saturada com bicarbonato de sódio (NaHCO₃ 1N a pH 8,5), utilizando-se uma mistura em partes iguais de resinas Amberlite IRA-400 e Amberlite IR-120, previamente passadas em peneira (com abertura de 0,5 mm) e pré-condicionadas de acordo com técnica estabelecida por RAIJ *et alii* (1986). Para a extração, transferiu-se 2,5 cm³ de terra para frasco plástico de 80 ml, provido de tampa. Acrescentou-se 25 ml de água destilada e uma bolinha de vidro (RAIJ & QUAGGIO, 1983). Esta fase consiste em desagregar o

Para a extração, procedeu-se a agitação de 10 cm³ de terra em 100 cm³ de solução de H₂SO₄ 0,5N, por quinze minutos. Após a extração, filtrou-se através de papel Whatman nº 42 e foram retiradas alíquotas para análise.

c) Extração com extrator de Mehlich ou "Carolina do Norte". Foi empregado o método para aferir a necessidade de adubação fosfatada mais utilizado no país (exceto em São Paulo), que consiste no uso da solução de HCl 0,05N e H₂SO₄ 0,025N (NELSON *et alii*, 1953). Para a extração, procedeu-se a agitação de 10 cm³ de terra em 100 cm³ de solução extratora de Mehlich (HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N) por quinze minutos (VETTORI, 1969). Após a extração, filtrou-se as amostras em papel Whatman nº 42 e foram retiradas alíquotas para análise.

d) Extração com resina trocadora de íons. Utilizou-se método da resina trocadora de íons saturada com bicarbonato de sódio (NaHCO₃ 1N a pH 8,5), utilizando-se uma mistura em partes iguais de resinas Amberlite IRA-400 e Amberlite IR-120, previamente passadas em peneira (com abertura de 0,5 mm) e pré-condicionadas de acordo com técnica estabelecida por RAIJ *et alii* (1986). Para a extração, transferiu-se 2,5 cm³ de terra para frasco plástico de 80 ml, provido de tampa. Acrescentou-se 25 ml de água destilada e uma bolinha de vidro (RAIJ & QUAGGIO, 1983). Esta fase consiste em desagregar o

solo com o auxílio da bolinha por agitação durante quinze minutos. Posteriormente, retirou-se a bolinha do frasco e colocou-se $2,5 \text{ cm}^3$ de resina (pronta para o uso), fechou-se o frasco e agitou-se a suspensão solo-resina-água, por 16 horas, em movimento circular a 220 rpm. No dia seguinte, a resina foi separada com auxílio de jato de água e lavada até parar de sair argila. Para a extração do fósforo contido na resina, utilizou-se a solução de NH_4Cl 0,8N + HCl 0,2N (50 ml) e deixou-se trinta minutos em contato para eliminar o gás carbônico; após este período, os frascos foram fechados e agitados por uma hora, a 220 rpm. O extrato foi utilizado para determinação do fósforo.

- e) Extração com resina trocadora de íons, contendo precipitado de $\text{Fe}(\text{OH})_3$. (Resina-Fe). Foi utilizada uma modificação do método originalmente descrito como da resina trocadora de cátions e ânions saturada com bicarbonato (RAIJ *et alii*, 1986). Nesta variante do método, a resina foi previamente tratada com uma suspensão de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ de forma que, para cada 2,50 e.mg de troca de resina foi adicionado 1 e.mg de $\text{Fe}(\text{OH})_3$. A seguir, a resina foi tratada com solução de NaHCO_3 1N (a pH 8,5), decantada e, a partir daí, o procedimento de extração do fósforo do solo pela resina-Fe é a mesma técnica descrita no item anterior (d).

f) Extração com resina trocadora de íons e sem agitação (resina - s/agitação). Trata-se de outra variante do método da resina (descrito no item d) no qual, na ocasião da extração do fósforo do solo, não se procede uma agitação, mas apenas mistura-se terra resina/água destilada e deixa-se por 16 (dezesesseis) horas em contato, e, a partir daí, foi separada a resina e retirado um extrato com auxílio da solução de NH_4Cl 0,8N + HCl 0,2N (por agitação) para a dosagem do teor de fósforo.

g) Extração com papel de filtro, contendo precipitado de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e com agitação (Papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ c/agitação). O papel de filtro foi previamente preparado (conforme técnica de VOLKWEISS & COREY¹, mergulhando-o em solução acidificada de Fe^{3+} , drenando o excesso e secando, a seguir, colocado em movimentos firmes e rápidos em solução de amônia a 5%. A extração, foi obtida a partir de 2,5 cm^3 de terra, com auxílio de 25 ml de água destilada e 100 cm^2 de superfície de papel-Fe, sendo agitado por 16 horas, empregando-se a metodologia modificada a partir da técnica de MENON *et alii* (1988).

h) Extração por difusão através de papel com $\text{Fe}(\text{OH})_3$ precipitado (Papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ s/agitação). Trata-se de

¹ VOLKWEISS, S.J. & COREY, R.B. Método de extração de fósforo de solos controlado por difusão para avaliar sua disponibilidade para as plantas. Trabalho apresentado na 18ª Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, Guarapari, 1988.

uma variante do método anteriormente descrito (ítem g) no qual não é feita agitação do solo em água e papel- Fe(OH)_3 , mas a suficiente quantidade de água para umedecer o conjunto. Neste método apenas deixam-se em contato as camadas de terra (três) de filtro impregnadas com água por 16 horas.

Para se determinarem os teores de fósforo "disponível" nos solos pelos vários extratores testados, tomaram-se as alíquotas de extratos filtrados e/ou decantados, obtidos pelos métodos descritos, e utilizou-se o método colorimétrico baseado na formação do ácido fosfovanadomolibdico, utilizando-se solução de ácido ascórbico 2% para redução do heteropoliácido, resultando um composto amarelo. Posteriormente, os resultados de extração de P foram correlacionados com as quantidades de fósforo no solo, através de uma equação da reta previamente estabelecida com padrões conhecidos.

3.4. Delineamento estatístico

Os valores obtidos foram submetidos à avaliação estatística, através da análise da variância (Teste F) para o fator tratamento (solo) e comparações entre as médias desses com o auxílio do teste de Tukey (GOMES, 1985). Foram analisadas, previamente as variáveis estudadas em teste de heterogeneidade de variância (BARBOSA, 1983), através de regressões lineares entre o logaritmo da média e o logaritmo

da variância de cada uma delas, visando verificar a necessidade de transformações de alguma variável e, com os testes de Hartley e Bartlett, encontram-se as transformações mais recomendadas (BARBOSA, 1983).

Entretanto, a manipulação estatística dos dados por Tukey permitiu a simples avaliação da diversidade de teores de P_i entre os solos e, necessitando de outro critério mais simples e eficiente para aferir as diferenças de disponibilidade do elemento entre os métodos, optou-se, então, para o uso de intervalo de confiança para a média geral do ensaio, calculada pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade; selecionaram-se os dados para cada variável em 3 grupos, como se pode verificar no item 4.1.1, com maior detalhamento de sua aplicação aos dados experimentais.

Utilizando-se ainda os dados básicos, calculou-se a absorção de fósforo pelas partes aérea e subterrânea (sistema radicular) e total das plantas. Foram efetuados dois grupos de análises, isto é, inicialmente considerando-se todos os solos do ensaio e depois com o cuidado de agrupá-los de acordo com a textura (% argila), delimitando-se dois grupos pelo teor de argila limite de 20%. A partir dos dados transformados ou não, realizaram-se as seguintes correlações e regressões: (a) Teor de fósforo extraído do solo, através das diferentes técnicas citadas com os pesos secos das partes aéreas (gramas de matéria seca na planta, g MS/planta) das plantas; (b) Teor de fósforo extraído dos solos e o fósforo absorvido pelas partes aérea, subterrânea

e total, expressos em miligramas de fósforo absorvido por vaso (mg P/PA, mg P/PS e mg P/planta).

Como as variáveis teores de fósforo dos solos (por extrator) e de argila destes não foram independentes entre si, ocorrendo uma relativa correlação positiva entre elas, como verificado pelo teste t, foi efetuada a análise multidimensional ou multivariada (GOMES, 1985), isto é, a análise da variância aplicada simultaneamente às variáveis P extraído (X_1) e argila (X_2) dos solos, através de equação de regressão linear para prever o comportamento da planta (Y), em termos de peso de matéria seca (grama) e conteúdos de fósforo absorvidos nas partes aérea e subterrânea e total das plantas (em miligramas).

Para finalizar a análise estatística, procedeu-se o cálculo de todas as possíveis regressões, envolvendo a totalidade das variáveis medidas no solo (independentes), no sentido de complementar a capacidade de previsão dos modelos de absorção de P pela planta. Daí, empregou-se o Coeficiente padrão (C_p), de MALLÖWS (1973), o qual é calculado para todas as possíveis combinações de parâmetros em diversas regressões e, segundo o autor, o melhor modelo seria aquele cujo C_p fosse o menor possível.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação da disponibilidade de fósforo em solos pelos métodos testados

4.1.1. Teores de fósforo nos solos

Os extratores atuais fornecem mais uma estimativa do fator quantidade e ora fator intensidade e, talvez, capacidade (RAIJ, 1978). Isto parece razoável, lembrando-se que, dos quatro fatores de disponibilidade de fósforo no solo, o fator quantidade é o mais importante (GUNARY & SUTTON, 1967; BACHE & ROGERS, 1970; DALAL & HALLSWORTH, 1976; RAIJ, 1978).

A capacidade extratora média de fósforo dos diversos métodos testados nos solos foi respectivamente decrescente no sentido da solução de H_2SO_4 0,5N, resina, resina- $Fe(OH)_3$, H_2SO_4 0,05N, "Carolina do Norte" ou Mehlich, resina sem agitação, como se verifica na Tabela 7. Analisando-se ainda os resultados originais de P extraído dos solos pelas soluções extratoras à base de ácidos fortes diluídos (H_2SO_4 0,05N, H_2SO_4 0,5N e Mehlich), verifica-se um comportamento bastante semelhante dos métodos H_2SO_4 0,05N e Mehlich em termos de capacidade extratora de P nos vários

solos estudados.

Os valores de P extraído dos solos pelas várias técnicas testadas no ensaio foram analisados estatisticamente com o auxílio do teste F e Tukey (Tabela 6), em blocos casualizados. Entretanto, a discriminação das médias só foi possível de ser aplicado depois da verificação da necessidade ou não de transformações dos dados. Tal procedimento visa corrigir a distribuição dos dados com variância heterogênea, transformando a sua distribuição em normal. A partir das explicações de BARBOSA (1983), chegou-se à recomendação de transformação das variáveis H_2SO_4 0,5N, Mehlich, resina, resina ($Fe(OH)_3$) e papel- $Fe(OH)_3$ (sem agitação), em $\sqrt{x}$.

Em termos de comparações de médias (Tukey) de P dos solos, verificou-se a maior amplitude de discriminação de grupos de teores de fósforo foi com o uso de soluções de ácido sulfúrico diluídas (0,05N e 0,5N), enquanto os extractores resina (IAC), Mehlich, resina ($Fe(OH)_3$), resina (sem agitação) e papel- $Fe(OH)_3$ (com agitação) apresentaram respectivamente, numa faixa intermediária, sendo a menor amplitude encontrada para o papel- $Fe(OH)_3$ (sem agitação), como se nota na Tabela 6. O melhor nível de discriminação de grupos de teores de P nos solos pelo teste de Tukey para as soluções à base de ácido sulfúrico pode ser parcialmente explicado por se tratar de um ácido forte o qual, segundo KAMPRATH & WATSON (1980), por ter um pH de 2 a 3 pode dissolver até P não lábil (RAIJ *et alii*, 1984), como em solos que receberam fosfato natural.

Tabela 6 - Resultados de análise estatística do fósforo extraído dos solos (tratamentos) e a comparação de médias entre si (Tukey), para os diversos métodos testados.

NÚMERO DO SOLO	EXTRATORES TESTADOS (mg. dm ⁻³)							
	H ₂ SO ₄ 0,05N	H ₂ SO ₄ 0,5N ¹	Mehlich ¹	Resina ¹ (CIAC)	Resina sem agitação	Resina com Fe(OH) ₃ ¹	Papel-Fe com agitação	Papel-Fe sem agitação ¹
01	56,0 a	12,1 a	7,8 a	6,7 bc	33,1 a	7,0 ab	19,7 a	2,7 a
02	5,5 i	3,3 i	2,2 i	2,0 j	2,7 h	1,7 i	0,4 h	0,6 g
03	6,0 i	5,5 fgd	2,0 i	2,0 j	2,3 h	4,7 hi	3,6 efgh	0,7 fg
04	6,0 i	3,2 i	3,4 gh	2,1 ij	6,5 fgh	2,5 ghi	1,6 gh	1,3 de
05	15,0 f	5,2 gh	4,4 def	3,1 ghi j	12,2 e	3,2 fgh	4,1 efgh	1,3 de
06	15,0 f	6,1 efg	4,7 de	3,6 efgh	12,2 e	3,6 efg	3,8 efgh	1,1 ef
07	17,0 f	6,7 ef	3,7 efg	3,2 fghi	6,4 fgh	3,6 efg	2,8 fgh	1,3 de
08	8,0 hi	7,0 e	2,4 hi	4,3 ef	10,0 ef	3,9 ef	1,9 gh	0,6 g
09	31,5 d	9,6 cd	4,4 def	6,5 bc	26,6 bc	6,9 ab	9,7 bcd	1,7 bcd
10	10,0 h	4,4 hi	3,5 fg	2,4 hij	3,9 gh	2,1 hi	5,2 defg	0,6 g
11	30,0 de	10,5 bc	5,1 cd	6,3 bc	22,0 cd	6,3 bc	7,4 cdef	1,5 bcde
12	29,0 de	7,4 e	5,9 bc	4,2 efg	10,0 ef	5,3 cd	9,1 cd	1,4 cde
13	26,5 e	7,0 e	4,5 def	5,7 ed	17,7 d	5,3 cd	4,1 efgh	1,1 ef
14	46,5 c	12,1 a	6,7 b	7,3 ab	31,5 ab	7,6 a	8,0 cde	1,8 bc
15	15,0 f	6,8 ef	3,6 fg	4,2 efg	8,6 efg	3,1 fgh	1,3 gh	1,1 ef
16	14,5 fg	4,7 h	3,3 gh	3,1 fgh	8,7 efg	2,7 ghi	3,1 fgh	1,6 bcd
17	52,0 b	9,1 d	6,2 b	6,8 abc	33,1 a	6,8 ab	11,6 bc	1,9 b
18	52,0 b	11,1 ab	6,8 ab	7,9 a	17,7 d	7,0 ab	14,2 b	2,5 a
19	1,0 j	4,7 h	3,0 ghi	2,5 hij	2,6 h	1,8 i	1,4 gh	0,6 g
20	11,0 gh	7,2 e	2,4 hi	4,7 de	5,2 fgh	4,4 de	2,4 gh	1,3 de
MÉDIA (mg)	22,4	7,2	4,3	4,4	13,6	4,3	5,8	1,4
VALOR F 735	**	138 **	91 **	86 **	124 **	105 **	37 **	61 **
TUKEY (5%)	3,7	1,3	1,0	1,2	5,4	1,1	4,7	0,4
CV	4,0	4,6	5,7	6,7	9,8	6,4	20,2	7,7

¹ Dados transformados em $\sqrt{x}$ para análise estatística.

** Significativo a 1% no teste F.

Tabela 7 - Valores médios obtidos para teores de fósforo dos solos, pelas diferentes técnicas de extração testadas, resultados do uso de intervalo de confiança.

NÚMERO DO SOLO	TEOR DE FÓSFORO EXTRAÍDO NO SOLO (mg. dm ⁻³)							
	H ₂ SO ₄ 0,05N	H ₂ SO ₄ 0,5N	Mehlich	Resina (CIAC)	Resina com Fe(OH) ₃	Resina sem agitação	Papel-Fe com agitação	Papel-Fe sem agitação
01	56,0 b	147,5 b	60,5 b	44,5 b	48,5 b	33,1 b	9,70 b	6,95 b
02	5,5 a	11,0 a	5,0 a	4,0 a	2,8 a	2,7 a	0,40 a	0,40 a
03	6,0 a	30,0 a	4,0 a	4,0 a	4,7 a	3,3 a	3,60 d	0,55 a
04	6,0 a	10,0 a	11,0 a	4,5 a	6,3 a	6,5 a	1,65 a	1,80 d
05	15,0 d	27,0 a	19,0 d	9,5 a	10,1 a	12,2 d	4,05 d	1,80 d
06	15,0 d	37,5 d	22,0 d	13,0 d	13,0 d	12,2 d	3,80 d	1,30 d
07	17,0 d	45,0 d	14,0 d	10,5 a	12,6 d	6,4 a	2,80 a	1,80 d
08	8,0 a	49,0 d	6,0 a	18,5 d	15,0 d	10,0 d	1,90 a	0,40 a
09	31,5 b	92,0 b	19,0 d	42,5 b	47,5 b	26,7 b	4,65 d	3,00 b
10	10,0 a	22,0 a	12,5 a	6,0 a	4,5 a	3,9 a	2,15 a	0,40 a
11	30,0 d	111,0 b	26,0 d	39,5 b	39,4 b	22,0 b	7,40 d	2,30 d
12	29,0 d	55,0 d	35,0 b	18,0 d	27,8 d	10,0 d	9,09 b	2,05 d
13	26,5 d	49,5 d	32,0 b	32,0 b	27,6 d	17,7 d	4,05 d	1,30 d
14	46,5 b	147,0 b	45,0 b	53,5 b	57,2 b	31,5 b	7,95 d	3,35 b
15	15,0 d	46,0 d	13,0 d	17,5 d	9,5 a	8,6 a	1,30 a	1,30 a
16	14,5 d	30,0 a	15,0 d	8,0 a	11,9 d	8,6 a	3,05 a	2,55 d
17	52,0 b	83,0 b	38,5 b	46,5 b	45,8 b	34,6 b	1,35 a	3,70 b
18	52,0 b	123,5 b	46,5 b	63,0 b	49,4 b	17,7 d	4,20 d	6,20 b
19	1,0 a	22,0 a	9,0 a	6,0 a	3,1 a	5,2 a	1,40 a	0,40 a
20	11,0 a	52,0 d	6,0 a	22,0 d	19,7 a	2,6 a	2,40 a	1,70 a
MÉDIA GERAL	22,4	59,4	21,4	23,2	22,8	13,8	3,8	2,2
VALOR F	647 **	218 **	172 **	51 **	108 **	115 **	36 **	61 **
L ₁ IC (mg)	14,3	51,1	12,7	12,4	11,9	8,8	3,4	1,2
L ₅ IC (mg)	30,5	34,7	26,3	28,4	28,0	18,5	8,1	2,7
CV	4,3	7,8	8,0	8,7	3,5	10,1	20,2	19,6

Médias seguidas por letras distintas pertencem a grupos de intervalos diferentes, ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo a 1% no teste F.

Todavia, a exigência de Tukey e a necessidade de transformação de algumas variáveis, ocasionam dificuldades na comparação de médias de P extraído de um mesmo solo obtido pelos diferentes métodos, devido a perda de informações a respeito dos valores absolutos de extração, e o aparecimento de um número muito elevado de classes de teores de fósforo nos solos do ensaio. Portanto, a manipulação estatística dos dados por Tukey permite a simples avaliação da diversidade de teores de P entre os solos, necessitando-se de outro critério mais simples para aferir diferenças entre métodos e relacionar-se melhor com os conceitos de fertilidade do solo, a respeito de disponibilidade de fósforo. Optou-se, então, pelo uso de intervalo de confiança para a média geral do ensaio, calculado pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade, selecionando-se os dados para cada variável estudada, em 3 grupos.

Grupo 1: Aqueles cujas médias eram maiores que o limite superior do intervalo de confiança calculado (LSIC).

Grupo 2: Aqueles cujas médias eram menores que o limite inferior do intervalo de confiança calculado (LIIC).

Grupo 3: Aqueles que estavam dentro do intervalo $LIIC \leq m \leq LSIC$.

Esses resultados estão condensados na Tabela 7, onde se podem ver as médias originais de P extraído dos solos pelas várias técnicas, seguidas de uma letra indicando

o grupo em que foi classificada (b para o Grupo 1, a para o Grupo 2 e d para o Grupo 3), bem como a sua classificação. Além disso, estão também o valor do teste F, o coeficiente de variação (CV), a média geral, o limite inferior do intervalo de confiança da média geral (LIIC) e o limite superior desse mesmo intervalo (LSIC).

Interpretando-se os resultados originais obtidos pelo método da resina trocadora de íons e as suas variantes testadas (Fe(OH)_3 precipitado e sem agitação), constatam-se que os níveis de extração de P dos solos por tais técnicas são bastante parecidos, com uma pequena tendência da metodologia de RAIJ *et alii* (1986), proposta para a resina, apresentar-se com valores maiores de P. A eliminação da agitação do método original da resina ocasionou uma pequena redução na precisão dos dados (CV = 10,1%), associado a uma menor capacidade extratora de P nos solos, em torno de 40,5%, em relação ao método "oficial" do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo (RAIJ *et alii*, 1986), da ordem de 8,7% (CV).

Nota-se que a metodologia do papel- Fe(OH)_3 (com agitação), semelhante à técnica descrita por MENON *et alii* (1989b), mostrou-se com um CV na ordem de 20,2%, o qual pode ser considerado relativamente elevado, e demonstrando uma variação aleatória do método, evidenciando a necessidade de aperfeiçoamento dessa técnica (Tabela 7).

O método do papel- Fe(OH)_3 (sem agitação), mostrou-se promissor nas análises estatísticas (Tabelas 6 e 7).

talvez por ter sido controlado por sua difusão no solo (VOLKWEISS & COREY¹), ou seja, o parâmetro difusão pode ter governado a disponibilidade do elemento.

A hipótese formulada por VOLKWEISS & COREY¹ para explicar o bom desempenho dessa técnica, por tratar-se de um método capaz de simular mais adequadamente a ação das raízes das plantas no solo, daí a extração do P com o papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ proporcionaria um maior índice de disponibilidade de P dos solos para as plantas.

Todavia, os resultados de P extraído pela técnica indicaram a necessidade de incrementar a quantidade do elemento retirado pelo papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$, o que teoricamente pode ser melhorado e corrigido pelo aumento da superfície de contato do papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ com o solo, devido a ação de contínua deposição de P na sua superfície e promovendo proporcionalmente a depressão do P da solução.

O critério de classificação em grupos, de teores de P extraídos dos solos (tratamentos), apresentados na Tabela 7, quando se avalia isoladamente dos parâmetros da planta pelo método de intervalo de confiança (5%), não permite aprofundar-se na discussão sobre o assunto. Daí, a necessidade de aplicar tal técnica nos parâmetros da planta (Tabela 8).

¹ VOLKWEISS, S.J. & COREY, R.B. Método de extração de fósforo de solos controlada por difusão para avaliar sua disponibilidade para as plantas. Trabalho apresentado na 18ª Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, Guarapari, 1988.

Tabela 8 - Valores médios obtidos para os parâmetros da planta, em MS e P nas partes aérea, subterrânea e inteira, resultados do uso de intervalo de confiança.

NÚMERO DO SOLO	MS (g/VASO)			P ABSORVIDO (mg/VASO)		
	PARTE AÉREA	PARTE SUBTERRÂNEA	PLANTA INTEIRA	PARTE AÉREA	PARTE SUBTERRÂNEA	PLANTA INTEIRA
01	51,89 b	33,34 b	85,23 b	46,10 b	23,34 b	69,44 b
02	6,79 a	7,54 a	14,33 a	2,59 a	3,08 a	5,67 a
03	9,72 a	10,48 a	20,19 a	6,80 a	7,59 a	14,39 a
04	8,24 a	5,22 a	11,46 a	3,12 a	3,92 a	7,04 a
05	37,08 b	24,00 b	61,08 b	23,79 d	9,34 d	33,13 d
06	39,15 b	24,00 b	63,15 d	29,09 b	14,40 d	43,49 b
07	16,74 d	14,70 d	31,44 d	12,66 a	8,82 a	21,48 a
08	9,39 a	14,66 d	24,05 a	12,21 a	9,10 d	21,30 a
09	18,87 d	19,19 d	38,16 d	27,51 b	15,89 b	43,39 b
10	7,94 a	8,75 a	16,69 a	6,06 a	9,25 d	15,31 a
11	19,87 d	21,41 b	41,28 d	16,94 d	13,57 d	30,51 d
12	13,25 a	12,81 a	26,06 a	14,23 d	13,43 d	27,66 d
13	23,78 d	15,94 d	39,72 d	16,65 d	10,28 d	26,93 d
14	34,21 b	22,27 b	56,48 b	28,93 b	18,79 b	47,71 b
15	19,80 d	18,60 d	38,40 d	23,31 d	17,46 b	40,77 b
16	11,19 a	8,65 a	19,83 a	10,20 a	6,23 a	16,43 a
17	31,54 b	31,39 b	62,93 b	31,80 b	20,23 b	52,03 b
18	28,21 b	26,02 b	54,23 b	33,85 b	17,59 b	51,44 b
19	9,10 a	7,36 a	16,46 a	10,66 a	3,68 a	14,34 a
20	18,77 d	15,54 d	34,31 d	19,97 d	9,99 d	29,96 d
MÉDIA GERAL	20,03	17,08	37,54	19,05	11,69	31,31
VALOR F	28 ^{***}	20 ^{***}	21 ^{***}	37 ^{***}	24 ^{***}	28 ^{***}
LIIC (mg)	14,8	13,3	28,0	13,4	9,0	22,9
LSIC (mg)	27,0	20,9	47,0	24,7	14,4	39,9
CV(%)	22,6	19,4	16,5	32,9	29,7	32,0

Médias seguidas por letras distintas pertencem à grupos de intervalos diferentes, ao nível de 5% de probabilidade.

*** Significativo a 1% no teste F.

4.1.2. Teores de fósforo e os parâmetros da planta

Adotando-se ainda o critério de classificação em grupos, através do intervalo de confiança em relação às médias gerais do ensaio (Tabelas 7 e 8), verificando-se o nível de coincidência de mesmo intervalo entre o P extraído e o P absorvido pelas plantas, constata-se a seguinte sequência em número de ocorrências decrescentes no sentido de H_2SO_4 0,5N, resina (IAC), resina ($Fe(OH)_3$), H_2SO_4 0,05N, Mehlich ou "Carolina do Norte", resina (sem agitação), papéis- $Fe(OH)_3$ sem e com agitação, respectivamente (Tabela 9).

Os tratamentos 02(AQ-1), 03(TE-1), 04(PA-1), 10(Cb/Li) e 19(PVa-3) apresentaram valores de P extraído pelos diversos métodos abaixo de LIIC, inserindo-se ao grupo de baixo teor de P nos solos.

Os tratamentos 01(PVa-1), 09(LR-1), 14(LR-3), 17(TE-3) e 18(LVe), obtiveram médias de P extraído pelas diversas técnicas testadas acima do LSIC, com exceção da resina sem agitação e papel-Fe com agitação, permitindo colocá-lo no grupo de solos de alto teor de fósforo.

Os tratamentos 06(PVa-2) e 07(AQ-2) apresentaram médias de fósforo extraído destes solos pelos vários métodos empregados no ensaio que permitem caracterizá-los como pertencente ao intervalo de confiança central (média), situando entre LIIC e o LSIC, com exceção para os métodos da resina sem agitação e o papel-Fe com agitação.

Tabela 9 - Comparação dos intervalos de confiança estabelecidos pela análise estatística para extratores químicos e parâmetros de planta.

FAIXAS DE INTERVALO DE CONFIANÇA (MÉDIA GERAL)																					Nº DE OCORRÊNCIA DE FAIXAS DO EXTRATOR COM PADRÃO BIOLÓGICO	
NÚMERO DOS SOLOS NO ENSAIO																						
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
Extratores de P																					g MS/P1	mg P/P1
H ₂ SO ₄ 0,05N	b	a	a	a	d	d	d	a	b	a	d	d	d	b	d	d	b	b	a	a	14	16
H ₂ SO ₄ 0,5N	b	a	a	a	a	d	d	d	b	a	b	d	d	b	d	a	b	b	a	d	14	14
Mehlich	b	a	a	a	d	d	d	a	d	a	d	b	b	b	d	d	b	b	a	a	14	13
Resina (IAC)	b	a	a	a	a	d	a	d	b	a	b	d	b	b	d	a	b	b	a	d	13	14
Resina-Fe(OH) ₃	b	a	a	a	a	d	d	d	b	a	b	d	d	b	a	d	b	b	a	a	12	13
Resina-s/agitação	b	a	a	a	d	d	a	d	b	a	b	d	d	b	a	a	b	d	a	a	10	14
Papel-Fe c/agitação	b	a	a	a	d	d	a	a	d	a	d	b	d	d	a	a	a	d	a	a	13	13
Papel-Fe s/agitação	b	a	a	d	d	d	d	a	b	a	d	d	d	b	a	d	b	b	a	a	12	15
Ref. Bibliográfica																						
g MS/P. Aérea	b	a	a	a	b	b	d	a	d	a	d	a	d	b	d	a	b	b	a	d	-	-
g MS/P. Subterrânea	b	a	a	a	b	b	d	d	d	a	b	a	d	b	d	a	b	b	a	d	-	-
g MS/Planta	b	a	a	a	b	b	d	a	d	a	d	a	d	b	d	a	b	b	a	d	-	-
mg P/P. Aérea	b	a	a	a	d	b	a	a	b	a	d	d	d	b	d	a	b	b	a	d	-	-
mg P/P. Subterrânea	b	a	a	a	d	d	a	d	b	d	d	d	d	b	b	a	b	b	a	d	-	-
mg P/Planta	b	a	a	a	d	b	a	a	b	a	d	d	d	b	b	a	b	b	a	d	-	-

a = valor < LIIC (mg); b = valor > LSIC (mg); d = LSIC > valor > LIIC.

Todavia, os valores de P extraídos dos solos de números 5(PVa-2), 8(Vertissolo), 11(PV-1), 12(LVa), 13(LR-2), 15(IRD), 16(AQ-3) e 20(LR-4) não possibilitam chegar-se a um consenso entre os vários métodos, através da comparação dos intervalos de confiança em relação à média do ensaio.

Entretanto, para encontrar-se a metodologia de maior coincidência nestes casos, torna-se necessário avaliar o comportamento da produção de matéria seca e a absorção de P das plantas, que se encontram condensadas nas Tabelas 8 e 9. Analisando a produção de matéria seca das plantas colocada sobre os tratamentos 05, 08, 11, 12, 13, 15, 16 e 20, nota-se uma tendência, em grande parte dos dados, de uma melhor explicação da resposta biológica pelos métodos de H_2SO_4 0,05N, H_2SO_4 0,5N e resina (IAC). Todavia, os tratamentos 05 e 12 tiveram um comportamento das plantas em produção de MS, que não foi explicado pelo P do solo por qualquer extrator.

Para a absorção de fósforo pela parte aérea e total das plantas, constata-se um desempenho ruim dos extratores, principalmente nos tratamentos 06, 08 e 15. Todavia, os resultados de absorção de fósforo na parte subterrânea da planta mostram uma concordância com as soluções diluídas de ácidos fortes (H_2SO_4 0,05N e Mehlich) e a resina.

Na Tabela 9 constata-se ainda uma pequena superioridade dos métodos de H_2SO_4 0,05N e Papel-Fe sem agitação em relação aos demais, em decorrência da maior concordância dos dados desses extratores com o padrão biológico, em termos de absorção de fósforo pelas plantas (total).

Na Tabela 10, verifica-se que os solos foram bem escolhidos, comprovado pelos diferentes potenciais de fornecimento de fósforo para as plantas, como se nota nos resultados de Tukey. Porém, para checar se esse elenco de solos é suficiente para avaliar os extratores de P testados no ensaio, torna-se essencial correlacionar os seus valores com a resposta da planta, em produção de MS e P absorvido.

Uma avaliação preliminar do interrelacionamento entre os teores de P extraídos dos solos e a resposta biológica, pode ser visualizada através do nível de correlação (r) entre eles.

Em geral, o nível de correlação dos diversos extratores de P com o desenvolvimento do vegetal e a absorção do elemento pelas plantas foi bastante razoável (0,60 a 0,92), conforme é possível observar na Tabela 11.

Nestes resultados, constata-se uma pequena superioridade dos métodos de H_2SO_4 0,05N, Mehlich, resina (IAC) e papel- $Fe(OH)_3$ (sem agitação) em relação às demais técnicas, observado pelos valores mais altos de coeficiente de determinação (r ou R) e da ordem de 0,70. Com um nível de correlação um pouco mais baixo, encontram-se os métodos baseados na resina com $Fe(OH)_3$ e sem agitação.

O pior coeficiente de correlação (r ou R) obtido foi com o uso de papel- $Fe(OH)_3$ (com agitação), pois esta metodologia, devido a agitação, provavelmente perdeu-se a participação mais efetiva do fator difusão de P na disponibilidade do elemento nos solos.

Tabela 10 - Resultados de análise de parâmetros de planta (teste F), em relação aos solos estudados e a comparação de médias entre si (Tukey).

NÚMERO DO SOLO	MS (g/VASO) ¹			P ABSORVIDO (mg/VASO) ²		
	PARTE AÉREA	PARTE SUBTERRÂNEA	PLANTA INTEIRA	PARTE AÉREA	PARTE SUBTERRÂNEA	PLANTA INTEIRA
01	3,95 a	3,50 a	4,41 a	6,80 a	4,64 a	8,82 a
02	2,42 gh	2,02 ef	2,93 ghi	1,62 l	1,23 g	2,03 j
03	2,25 hi	2,22 def	2,93 ghi	2,59 jkl	2,29 defg	3,46 ij
04	1,76 i	1,65 f	2,40 i	1,93 kl	1,76 fg	2,62 ij
05	3,61 abc	3,17 abc	4,12 abc	4,87 bcde	3,27 cd	5,87 bcde
06	3,66 ab	3,17 abc	4,14 ab	6,16 ab	3,79 abc	7,24 abc
07	2,81 efgh	2,68 bcd	3,44 cdefgh	3,54 fghij	2,97 cde	4,63 efgh
08	2,23 hi	2,61 cde	3,13 efgh	3,48 ghij	2,95 cde	4,56 efgh
09	3,08 bcdef	2,92 abc	3,56 bcdefg	3,99 efghi	3,58 abc	6,10 bcde
10	2,46 fgh	2,17 def	3,03 efghi	2,68 ijkl	2,88 cde	3,94 fghi
11	2,99 cdefg	3,00 abc	3,69 bcde	4,20 defgh	3,77 abc	5,65 bcdef
12	2,58 efgh	2,55 cde	3,26 defgh	3,84 efghij	3,66 abc	5,06 defgh
13	3,14 bcde	2,76 bcd	3,66 bcdef	4,47 defg	3,34 bcd	5,54 cdefgh
14	3,53 abcd	3,09 abc	4,04 abc	6,07 ab	4,37 ab	7,48 ab
15	2,69 efgh	2,92 abc	3,64 bcdef	4,82 cde	3,59 abc	7,10 abc
16	2,41 gh	2,15 def	2,98 fghi	3,05 ijk	2,46 def	3,92 fghi
17	3,45 abcd	3,44 a	4,14 ab	5,46 bcd	4,52 a	7,09 abc
18	3,10 bcde	3,27 ab	3,88 abcd	5,14 bcde	4,49 a	6,83 abcd
19	2,19 hi	2,02 ef	2,81 hi	3,23 ghijk	1,94 efg	3,77 ghij
20	2,93 defg	2,74 bcd	3,53 bcdef	4,41 defg	3,15 cd	5,42 cdefg
MÉDIA GERAL	2,86	2,70	3,49	4,12	3,23	5,33
VALOR F	28 **	20 **	21 **	37 **	24 **	28 **
Tukey (5%)	0,57	0,66	0,68	1,32	1,10	1,86
CVC(%)	5,5	6,1	4,8	8,0	8,5	8,2

¹ Dados de matéria seca receberam transformações em $\ln(x)$;

² Dados de fósforo acumulado (base seca) receberam transformação em $\sqrt{x}$;

** Significativo a 1% no teste F.

Tabela 11 - Nível de correlação (r) entre a resposta da planta, em matéria seca e absorção de fósforo, em relação aos teores do elemento em solos, através de vários métodos testados.

EXTRATORES DE P	MATÉRIA SECA (g/VASO)			FÓSFORO ABSORVIDO (mg P/vaso)		
	PARTE AÉREA	PARTE SUBTERRÂNEA	PLANTA (TOTAL)	PARTE AÉREA	PARTE SUBTERRÂNEA	PLANTA (TOTAL)
H ₂ SO ₄ 0,05N	0,733 **	0,826 **	0,765 **	0,746 **	0,921 **	0,783 **
H ₂ SO ₄ 0,5N	0,633 **	0,699 **	0,737 **	0,713 **	0,826 **	0,736 **
Mehlich	0,778 **	0,776 **	0,769 **	0,780 **	0,859 **	0,781 **
Resina (IAC)	0,631 **	0,761 **	0,676 **	0,685 **	0,886 **	0,734 **
Resina Fe(OH) ₃	0,610 **	0,747 **	0,651 **	0,686 **	0,890 **	0,720 **
Resina s/agit.	0,686 **	0,824 **	0,730 **	0,766 **	0,871 **	0,780 **
Papel-Fe c/agit.	0,646 **	0,675 **	0,662 **	0,649 *	0,781 **	0,668 **
Papel-Fe s/agit.	0,747 **	0,758 **	0,748 **	0,721 **	0,782 **	0,718 **

* Significativo a 5% de probabilidade no teste t.

** Significativo a 1% de probabilidade no teste t.

4.2. Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta a fósforo explicada pela análise dos teores do elemento e argila dos solos

A eficiência de qualquer método pode ser indicada pelo nível de variação (r^2 ou R^2), expressa em porcentagem, da resposta a fósforo pela planta associada com o parâmetro de P no solo (RAIJ, 1978). Todavia, a simples avaliação da resposta ao fósforo da planta pela parte aérea nem sempre possibilita diagnosticar o comportamento real do vegetal. Em relação à absorção de fósforo, admite-se que não somente os fatores do solo estão envolvidos (CABALA & SANTANA, 1983), mas também as características da planta (BARBER, 1979), destacando-se, entre elas, a densidade, comprimento e atividade das raízes que condicionam a intensidade de absorção de P (CABALA, 1979). Em virtude de tais aspectos, avaliou-se no ensaio o desenvolvimento da parte subterrânea (raízes) das plantas, visando estabelecer-se a resposta dessa parte do vegetal ao fósforo dos solos.

Dentre os fatores que afetam a disponibilidade de fósforo no solo, o fator quantidade é o mais importante (GUNARY & SUTTON, 1967; BACHE & ROGERS, 1970; DALAL & HALLSWORTH, 1976; RAIJ, 1978).

Todavia, outros autores, entre eles BAHIA FILHO et alii (1983), SILVA (1990) e MUNIZ (1983) relatam que a capacidade de previsão na avaliação da absorção de fósforo pelos vegetais aumenta, considerando-se os fatores quantidade associado a capacidade. O fator capacidade está bastante

relacionado à porcentagem de argila do solo, o que será utilizado como critério auxiliar, visando melhor explicar a % de variação (r^2) da resposta da planta ao fósforo. Esse interrelacionamento existe entre a textura (% de argila) e a disponibilidade de P nos solos, avaliada pelos diversos métodos de extração do elemento e por parâmetros da planta, como se pode constatar através das correlações na Tabela 12. Nota-se a maior sensibilidade dos extratores H_2SO_4 0,5N, resina (IAC) e as suas variantes, e o H_2SO_4 0,05N à textura do solo, observado pelos coeficientes de correlação maiores.

Este nível de sensibilidade do método da resina, já foi anteriormente observado por SILVA (1990), em relação ao fator capacidade, na avaliação da disponibilidade de P em solos do Cerrado.

4.2.1. Resposta em produção de MS da planta

Posterior ao emprego de correlações simples entre os teores de P do solo e a produção de MS da planta, procedeu-se determinação de equações lineares e quadráticas entre essas variáveis, visando encontrar os modelos que permitam prever a partir do teor de "P disponível" pelos vários métodos a resposta em matéria seca, das partes aérea, subterrânea e planta inteira. Os coeficientes de determinação (r^2) dessas equações foram condensados na Tabela 13. Esses resultados indicam que a explicação do fósforo do solo na produção de MS, na parte aérea é bastante moderada, da ordem de 50% dos dados.

Tabela 12 - Resultados das correlações entre a textura dos solos (expresso pela % de argila) com os métodos de extração de fósforo do solo e parâmetros da planta, através do teste t.

VARIÁVEIS A SEREM CORRELACIONADAS COM A % DE ARGILA	TESTE t de STUDENT	
	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (PROBABILIDADE)
Extratores P do solo (ppm P)		
H ₂ SO ₄ 0.05N	0.384	10%
H ₂ SO ₄ 0.5N	0.517	2%
Mehlich	0.162	n. s.
Resina (IAC)	0.550	2%
Resina-Fe(OH) ₃	0.482	3%
Resina-s/agitação	0.515	2%
Papel/Fe c/agitação	0.196	n. s.
Papel/Fe s/agitação	0.359	10%
Parâmetros da planta		
g matéria seca/parte aérea	0.393	10%
g matéria seca/parte subterrânea	0.394	2%
g matéria seca/planta	0.493	2%
mg P/parte aérea	0.499	2%
mg P/parte subterrânea	0.573	10%
mg P/planta (total)	0.573	10%

n. s. = não significativo no teste t.

Tabela 13 - Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta em matéria seca da planta a fósforo explicada pela análise do elemento em solos, pelos vários métodos testados e associado ou não à % de argila.

PARÂMETROS USADOS NO MODELO MAIS AJUSTADO AOS DADOS		PORCENTAGEM DE VARIAÇÃO EXPLICADA PELOS PARÂMETROS g MATÉRIA SECA NAS PARTES DA PLANTA/VASO ¹		
EXTRATOR DE P	ARGILA (%)	PARTE AÉREA	PARTE SUBTERRÂNEA	PLANTA (TOTAL)
H ₂ SO ₄ 0.05N	Não	55**	60** ²⁰	57** ⁷
H ₂ SO ₄ 0.05N	Sim	61** ⁶	80**	64**
H ₂ SO ₄ 0.5N ²	Não	48**	58**	53**
H ₂ SO ₄ 0.5N ²	Sim	62** ²²	72** ¹⁴	61** ⁸
Mehlich ²	Não	56**	58**	53**
Mehlich ²	Sim	64** ⁸	87** ¹⁹	76** ²³
Resina (IAC) ²	Não	51**	67**	56**
Resina (IAC) ²	Sim	60** ⁹	78** ¹¹	58** ²
Resina Fe(OH) ²	Não	48**	59**	52**
Resina-Fe(OH) ² ₃	Sim	58** ¹⁰	73** ¹⁴	62** ¹⁰
Resina-s/agitação	Não	56**	68**	53**
Resina-s/agitação	Sim	55** ⁻¹	69** ¹	59** ⁶
Papel-Fe-c/agitação	Não	36*	56**	36*
Papel-Fe-c/agitação	Sim	51** ¹⁵	71** ¹⁵	53** ¹⁷
Papel-Fe-s/agitação	Não	52**	53**	48**
Papel-Fe-s/agitação	Sim	55** ³	67** ¹⁴	58** ¹⁰

* Significativo a 5% de probabilidade no teste F;

** Significativo a 1% de probabilidade no teste F;

¹ Dados transformados em $\ln(x)$;

² Dados transformados em $\sqrt{x}$.

Todavia, avaliando-se os valores de r^2 para a produção de MS na parte subterrânea e os teores de P extraído dos solos, verifica-se uma pequena superioridade das técnicas da resina com e sem agitação, da ordem de 67 a 68%, em relação aos demais métodos ($r^2 < 60\%$).

Na Tabela 13, para a produção de MS, na planta inteira, constata-se um desempenho ligeiramente superior para extratores à base de soluções de ácidos diluídos e as técnicas com resina, em relação ao emprego de papel- Fe(OH)_3 , com e sem agitação.

Quando se inclui a % de argila (fator capacidade) em associação ao teor de P extraído para explicar a porcentagem de variação (r^2) de resposta da planta, em matéria seca, obteve-se uma sensível melhora no nível de interpretação do modelo multivariado.

Pela análise dos valores de r^2 de produção de matéria seca na parte aérea e total da planta com diversos extratores, nota-se um nível maior de explicação do fenômeno, pelo aumento deste coeficiente com a inclusão do parâmetro textura (% argila), destacando o melhor desempenho dos extratores ácidos em si, o mesmo ocorrendo no conjunto de dados com os métodos baseados no uso da resina. Quanto ao comportamento dos extratores na parte subterrânea das plantas, verificou-se a superioridade dos métodos da resina (78%), Mehlich (87%) e H_2SO_4 0,05N (80%) para explicar a % de variação da resposta (r^2), associado ao modelo de regressão multivariada o parâmetro textura (x_2) do solo. Esses

resultados indicam que a avaliação da parte subterrânea da planta propiciou maior capacidade discriminatória no estudo de extratores de P dos solos. O pior coeficiente de determinação para os modelos foi obtido com o uso do papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ com e sem agitação.

4.2.2. Resposta em absorção de P nas plantas

Considera-se que a quantidade de fósforo que a planta absorve reflete a disponibilidade desse elemento no solo (RAIJ, 1978; CABALA & SANTANA, 1983).

O nível de explicações (r^2) da resposta em absorção de P pelos componentes da planta ao elemento no solo, através dos diversos métodos de extração de fósforo na análise de terras, foi bastante razoável (29 a 81%), conforme é possível observar-se na Tabela 14, ou ainda, em representação gráfica nas Figuras 2 a 16.

Os resultados de P absorvidos na parte aérea das plantas, demonstram a superioridade dos métodos de Mehlich, resina e com Fe (57%) em comparação aos demais, como se verifica nas Figuras 4 e 5. Com um nível de explicação (r^2) igual em capacidade de previsão da resposta da parte aérea da planta, encontram-se o H_2SO_4 0,5N (57%), e um pouco menor a resina sem agitação (48%), H_2SO_4 0,05N (55%), papéis- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ com (34%) e sem agitação (29%). Tais técnicas mediram o fator quantidade para avaliar a disponibilidade de P nos solos, com exceção da última, que se relaciona ao fator difusão.

Tabela 14 - Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta em conteúdo de fósforo absorvido na planta ao elemento explicada pela análise do mesmo em solos, pelos vários métodos testados e associados ou não à % de argila.

PARÂMETROS USADOS NO MODELO MAIS AJUSTADO AOS DADOS		PORCENTAGEM DE VARIAÇÃO EXPLICADA PELOS PARÂMETROS mg P ABSORVIDO NAS PARTES DA PLANTA/VASO ¹		
EXTRATOR DE P	ARGILA (%)	PORTE AÉREA	PORTE SUBTERRÂNEA	PLANTA (TOTAL)
H ₂ SO ₄ 0,05N	Não	55**	75**	54**
H ₂ SO ₄ 0,05N	Sim	61**	80**	64**
H ₂ SO ₄ 0,15N ¹	Não	57**	71**	59**
H ₂ SO ₄ 0,15N ¹	Sim	63**	72**	60**
Mehlich ¹	Não	57**	69**	54**
Mehlich ¹	Sim	64**	81**	76**
Resina (IAC) ¹	Não	57**	78**	62**
Resina (IAC) ¹	Sim	60**	78**	62**
Resina Fe(OH) ₃ ¹	Não	57**	77**	54**
Resina-Fe(OH) ₃ ¹	Sim	58**	78**	61**
Resina-s/agitação	Não	48**	68**	54**
Resina-s/agitação	Sim	55**	69**	59**
Papel-Fe-c/agitação	Não	29 ^{ns}	40*	30 ^{ns}
Papel-Fe-c/agitação	Sim	51**	71**	53**
Papel-Fe-s/agitação	Não	34*	44*	48*
Papel-Fe-s/agitação	Sim	51**	67**	57*

^{ns} não significativo;

* Significativo a 5% de probabilidade no teste F;

** Significativo a 1% de probabilidade no teste F;

¹ Dados transformados em $\sqrt{x}$.

Figura 2 - Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte aérea ao elemento extraído do solo pelo H₂SO₄ 0,05N.

Figura 3 - Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte aérea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo H₂SO₄ 0,5N.

Figura 4 - Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte aérea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo extrator de Mehlich.

Figura 5 - Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte aérea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pela resina trocadora de íons.

Figura 6 - Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte aérea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo papel de filtro impregnado com hidróxido férrico (sem agitação).

Figura 7 - Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte subterrânea ao elemento extraído do solo pelo H₂SO₄ 0,05N.

Figura 8 - Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte subterrânea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo H₂SO₄ 0,5N.

Figura 9 - Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte subterrânea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo extrator de Mehlich.

Figura 10 - Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte subterrânea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pela resina trocadora de íons.

Figura 11 - Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte subterrânea a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo papel de filtro impregnado com hidróxido férrico (sem agitação).

Figura 12 - Representação gráfica da resposta do vegetal em conteúdo de fósforo absorvido na planta inteira ao elemento extraído do solo pelo H₂SO₄ 0,05N.

Figura 13 - Representação gráfica da resposta do vegetal em conteúdo de fósforo absorvido na planta inteira a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo H₂SO₄ 0,5N.

Figura 14 - Representação gráfica da resposta do vegetal em conteúdo de fósforo absorvido na planta inteira a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo extrator de Mehlich.

Figura 15 - Representação gráfica da resposta do vegetal em conteúdo de fósforo absorvido na planta inteira a raiz quadrada do elemento extraído do solo pela resina trocadora de íons.

Figura 16 - Representação gráfica da resposta do vegetal em conteúdo de fósforo absorvido na planta inteira a raiz quadrada do elemento extraído do solo pelo papel de filtro impregnado com hidróxido férrico (sem agitação).

Quando se introduziu o parâmetro textura (% de argila), o qual está intimamente relacionado com a capacidade tampão (ou fator capacidade) de P dos solos, nos modelos multivariados para predizer a resposta em absorção de P, na parte aérea da planta, ao elemento no solo, constatou-se uma melhora significativa na capacidade de previsão dos modelos a partir dos valores de extração do H_2SO_4 0,05N, papéis- $Fe(OH)_3$ com e sem agitação e Mehlich. Resultados similares foram obtidos por BACHE & ROGERS (1970), com uma melhora também pequena sobre a consideração isolada dos valores de P determinado pelo método da resina.

O trabalho de CAMARGO *et alii* (1974) indica que a argila é o principal fator envolvido na adsorção de P em solos do Estado de São Paulo, o que explica a sua participação na disponibilidade de P.

Em relação à absorção de P na parte subterrânea das plantas, verificou-se um aumento generalizado nos coeficientes de determinação (r^2 ou R^2) das equações matemáticas multidimensionais estabelecidas com a inclusão do parâmetro % de argila, mostrando um nivelamento (r^2) nas soluções ácidas e as técnicas da resina.

Em seleção de métodos de extração de P dos solos existem outros critérios adicionais para auxiliar a interpretação da disponibilidade do elemento além da textura (% de argila), tais como a acidez e teores de carbono (KOCHAN *et alii*, 1982; RAIJ *et alii*, 1982; GRANDE *et alii*, 1986), sendo a possível participação destes outros parâmetros adicionais discutidos posteriormente.

A avaliação conjunta dos parâmetros intensidade e quantidade (representados pelo P extraído pelos métodos) e capacidade (relacionado com a % de argila) na capacidade de previsão da absorção de fósforo do solo pelas plantas, verificou-se a superioridade dos métodos resina (IAC) (78%) e as suas variantes ($\text{Fe}(\text{OH})_3$ e sem agitação) com 58 e 55%, H_2SO_4 0,5N (72%), H_2SO_4 0,05N (80%) e Mehlich (81%), em relação à parte subterrânea da planta.

Todavia, os métodos de extração da resina (IAC), H_2SO_4 0,05N e Mehlich já mostravam uma boa capacidade

de previsão da absorção de P (69 a 78%), na parte subterrânea da planta, antes de considerar-se a % de argila no modelo, como podemos observar nas Figuras 8, 9 e 10. Não obstante, os resultados dos métodos papéis- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ com (40%) e sem agitação (48%) e a resina sem agitação e $\text{Fe}(\text{OH})_3$ com 68% não foram tão promissores, como se verifica na Figura 11 e a Tabela 14. O coeficiente de determinação (r^2) da resina (IAC), um pouco maior em relação ao de Mehlich, está de acordo com praticamente toda a literatura consultada. E quando se submeteram os coeficientes médios de ambos os métodos obtidos em mais de uma dezena de ensaios ao teste t, constatou-se a maior eficiência da resina trocadora de ânions, ao nível de 5% de probabilidade.

Em ensaios de campo em solos no Estado de São Paulo, onde se comparou a eficiência da resina (IAC), Mehlich e H_2SO_4 0,05N para as culturas do milho (16 ensaios) e do algodão (28 ensaios), nota-se a constante superioridade do método da resina sobre os demais, como pode ser verificado pelos trabalhos de RAIJ *et alii* (1984) e RAIJ *et alii* (1986), respectivamente.

Por outro lado, quando se analisaram os dados de r^2 em resposta à absorção de P pela planta inteira, principalmente considerando-se no modelo multivariado o parâmetro textura ("fator capacidade"), o extrator de Mehlich surpreende com o seu melhor desempenho.

O nível de explicação da resposta da absorção de fósforo na planta inteira ao elemento analisado no solo,

obtendo resultados favoráveis para os extratores resina (IAC) (Figura 15) e H_2SO_4 0,5N (Figura 13), em relação aos outros métodos, como Mehlich (Figura 14), H_2SO_4 0,05N (Figura 12) e o papel- $Fe(OH)_3$ sem agitação (Figura 16). Segundo HOLFORD (1980), o extrator de Mehlich é insensível ao tampamento do solo. FREIRE *et alii* (1979) discutiram uma aplicação prática de, a partir de "P disponível" pelo extrator de Mehlich e considerando a porcentagem de argila, chegar-se-ia à recomendação mais precisa de adubação fosfatada, confirmando os resultados inseridos na Tabela 14.

Todavia, a adição de adubos fosfatados no solo provocaria uma modificação no teor de "P disponível" pelos extratores, em muitas vezes, na razão inversa do conteúdo de argila atribuído à exaustão do extrator para argila (THOMAS & PEASLEE, 1973; KAMPRATH & WATSON, 1980).

4.3. Avaliação da % de explicação (R^2) da resposta biológica, considerando agrupamento de solos mais homogêneos em textura

A relação entre a disponibilidade P nos solos e o conteúdo de argila foi inversa, como verificaram THOMAS & PEASLEE (1973), que poderia ser explicado como sendo a quantidade de P lábil inversamente proporcional à capacidade tampão dos solos (HOLFORD, 1980).

HOLFORD & MATTINGLY (1976) constataram também melhoria na variação de P absorvido pela planta, explicada

por parâmetros de quantidade e intensidade pela consideração do poder tampão potencial de fósforo.

Então, visando minimizar este efeito do poder tampão potencial de fósforo dos solos, procedeu-se um agrupamento destes em decorrência do fator capacidade, através do parâmetro % de argila e estabelecendo dois grupos mais homogêneos de solos, isto é, solos mais arenosos (argila % < 20) e mais argilosos (argila % > 20), visando subdividir em dois grupos com menor efeito de textura e mesmo número de dados.

4.3.1. Agrupamento de solos arenosos (argila % < 20)

O nível de correlação dos diversos extratores com o desenvolvimento do vegetal e absorção de P nas partes aérea, subterrânea e total pelas plantas foi elevado (0,70 a 0,90), conforme é possível observar na Tabela 15.

Em termos de correlação de produção de matéria seca com os extratores, verificam-se resultados semelhantes entre os diversos métodos testados. Com nível de correlação um pouco mais alto encontra-se o método da resina sem agitação.

A correlação entre os teores de "P disponível" do solo, obtido com os diversos extratores, com a absorção de P nas partes da planta mostra uma ligeira superioridade do método da resina (IAC) e um bom desempenho das soluções ácidas (Mehlich, H_2SO_4 0,05N e H_2SO_4 0,5N) e da resina sem

agitação. O pior coeficiente de correlação foi obtido com o uso do papel de filtro impregnado de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ com e sem agitação.

Quando foram analisados os coeficientes de correlação (R^2) a partir de regressões polinomiais (1º e 2º graus) entre a produção de matéria seca nas partes distintas da planta ao fósforo do solo (Tabela 16), que foram extraídos pelos diversos métodos, verificou-se uma explicação da ordem de 76 a 82% dos resultados obtidos pelas técnicas de papel de filtro impregnados com $\text{Fe}(\text{OH})_3$ com agitação, resina sem agitação e H_2SO_4 0,5N. Com valores de r^2 um pouco menor para a resina (71%), como se verifica na Tabela 16.

A inclusão do fator capacidade, no modelo representado pela porcentagem de argila, ocasionou um aumento no poder preditivo das equações, mas um nivelamento da eficiência dos métodos, devido a maior participação desse primeiro fator na disponibilidade.

Tal fato pode ser parcialmente explicado pela presença em solos arenosos de menor capacidade tampão de P nestes (BECKETT & WHITE, 1964), o que condiciona a maior facilidade das plantas em absorver fósforo do meio.

Com a introdução do parâmetro % de argila dos solos nos modelos multivariados, constatou-se um incremento na porcentagem de variação (r^2) da resposta na produção de matéria seca nas partes da planta.

Tabela 15 - Nível de correlação (r) entre a resposta da planta, em matéria seca e absorção de fósforo, em relação aos teores do elemento em agrupamento de solos arenosos (argila < 20%), com auxílio de vários métodos testados, através do teste t.

EXTRATORES DE P	MATÉRIA SECA (g/VASO)			FÓSFORO ABSORVIDO (mg P/vaso)		
	PARTE AÉREA	PARTE SUBTERRÂNEA	PLANTA (TOTAL)	PARTE AÉREA	PARTE SUBTERRÂNEA	PLANTA (TOTAL)
H ₂ SO ₄ 0,05N	0.717**	0.772**	0.725**	0.741**	0.893**	0.801**
H ₂ SO ₄ 0,5N	0.733**	0.778**	0.785**	0.809**	0.863**	0.818**
Mehlich	0.745**	0.785**	0.748**	0.783**	0.917**	0.843**
Resina (IAC)	0.761**	0.799**	0.762**	0.822**	0.884**	0.844**
Resina Fe(OH) ₃	0.684**	0.732**	0.699**	0.752**	0.874**	0.786**
Resina s/agit.	0.862**	0.871**	0.855**	0.807**	0.875**	0.886**
Papel-Fe c/agit.	0.617**	0.674*	0.630*	0.632*	0.753**	0.738**
Papel-Fe s/agit.	0.695**	0.711*	0.686*	0.692*	0.876**	0.727**

* Significativo a 5% de probabilidade no teste t.

** Significativo a 1% de probabilidade no teste t.

Tabela 16 - Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta em matéria seca da planta em agrupamento de solos arenosos (argila < 20%), em face à análise da terra.

PARÂMETROS USADOS NO MODELO MAIS AJUSTADO AOS DADOS		PORCENTAGEM DE VARIAÇÃO EXPLICADA PELOS PARÂMETROS g MATÉRIA SECA NAS PARTES DA PLANTA/VASO ¹		
EXTRATOR DE P	ARGILA (%)	PORTE AÉREA	PORTE SUBTERRÂNEA	PLANTA (TOTAL)
H ₂ SO ₄ 0,05N	Não	52**	69**	59**
H ₂ SO ₄ 0,05N	Sim	81**	90**	88**
H ₂ SO ₄ 0,5N ²	Não	76**	74**	68**
H ₂ SO ₄ 0,5N ²	Sim	76**	91**	89**
Mehlich ²	Não	69**	83**	73**
Mehlich ²	Sim	69**	91**	89**
Resina (IAC) ²	Não	71**	77**	72**
Resina (IAC) ²	Sim	72**	92**	88**
Resina Fe(OH) ₃ ²	Não	70**	73**	68**
Resina-Fe(OH) ₃ ²	Sim	70**	91**	89**
Resina-s/agitação	Não	78**	64**	68**
Resina-s/agitação	Sim	78**	92**	89**
Papel-Fe-c/agitação	Não	82**	73**	70 ^{ns}
Papel-Fe-c/agitação	Sim	92**	91**	88**
Papel-Fe-s/agitação	Não	61**	56**	56*
Papel-Fe-s/agitação	Sim	63**	92**	88**

* Significativo a 5% de probabilidade no teste F;

** Significativo a 1% de probabilidade no teste F;

¹ Dados transformados em $\ln(x)$;

² Dados transformados em $\sqrt{x}$.

Na Tabela 17, encontram-se as porcentagens de variação (r^2) das respostas em absorção de P nas partes das plantas em agrupamento de solos arenosos (argila < 20%), face às análises da terra.

Nota-se a melhor previsão dos extratores H_2SO_4 0,05N e papel de filtro impregnado com $Fe(OH)_3$ com agitação na absorção de P na parte aérea da planta. Com valores de r^2 ligeiramente inferiores para explicar a absorção de P na parte aérea das plantas têm-se as técnicas da resina (IAC) e H_2SO_4 0,5N. Os piores resultados (r^2) foram obtidos pela resina sem agitação e papel com $Fe(OH)_3$ sem agitação.

Todavia, quando se avaliou a resposta em absorção de P na parte subterrânea da planta ao elemento no solo, constatou-se uma melhora na capacidade extratora dos métodos H_2SO_4 0,5N, H_2SO_4 0,05N, Mehlich e resina (IAC), em relação à parte aérea do vegetal. Os extratores ácidos (H_2SO_4 0,05N, H_2SO_4 0,5N, Mehlich), resina (IAC) mostraram-se superiores aos demais métodos em eficiência.

Quando se estabeleceu o nível de resposta em absorção de P na planta (total) ao elemento no solo, chegou-se à superioridade da resina (IAC) sobre as demais técnicas, concordando com a revisão de RAIJ (1978). Entretanto, quando se inseriu nos modelos o "fator capacidade" (% de argila), ocorreu um nivelamento da previsão dos métodos.

Tabela 17 - Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta em absorção de fósforo pela planta em agrupamento de solos arenosos (argila < 20%), em face à análise da terra.

PARÂMETROS USADOS NO MODELO MAIS AJUSTADO AOS DADOS		PORCENTAGEM DE VARIAÇÃO EXPLICADA PELOS PARÂMETROS mg FÓSFORO ABSORVIDO NAS PARTES DA PLANTA/VASO ¹		
EXTRATOR DE P	ARGILA (%)	PORTE AÉREA	PORTE SUBTERRÂNEA	PLANTA (TOTAL)
H ₂ SO ₄ 0,05N	Não	75**	83**	69**
H ₂ SO ₄ 0,05N	Sim	91**	86**	76**
H ₂ SO ₄ 0,5N ¹	Não	67**	73**	69**
H ₂ SO ₄ 0,5N ¹	Sim	92**	78**	85**
Mehlich ¹	Não	58**	83**	78**
Mehlich ¹	Sim	92**	84**	89**
Resina (IAC) ¹	Não	68**	77**	89**
Resina (IAC) ¹	Sim	93**	78**	94**
Resina Fe(OH) ₃ ¹	Não	62**	73**	84**
Resina-Fe(OH) ₃ ¹	Sim	92**	78*	89**
Resina-s/agitação	Não	56**	55*	68**
Resina-s/agitação	Sim	93**	77*	87**
Papel-Fe-c/agitação	Não	76**	72**	69**
Papel-Fe-c/agitação	Sim	92**	81**	81**
Papel-Fe-s/agitação	Não	52*	50*	68**
Papel-Fe-s/agitação	Sim	92**	78*	95**

* Significativo a 5% de probabilidade no teste F;

** Significativo a 1% de probabilidade no teste F;

¹ Dados transformados em $\sqrt{x}$.

4.3.2. Agrupamento de solos mais argilosos (argila > 20%)

A eficiência dos extratores de P em solos mais argilosos (argila > 20%) pode ser analisada pela porcentagem de variação (r^2 ou R^2) da resposta em produção de matéria seca e P absorvido através de correlação entre estas variáveis do solo e da planta, que se encontram nas Tabelas 18 e 19.

Avaliando-se o nível de correlação entre os extratores testados e a produção de matéria seca nas partes aéreas e subterrâneas das plantas, constata-se a superioridade dos métodos resina (IAC), H_2SO_4 0,05N, Mehlich e o papel de filtro impregnado com $Fe(OH)_3$ sem agitação em comparação aos demais, como se vê na Tabela 18.

Nestes resultados, verificam-se ainda valores de correlação um pouco abaixo para os extratores resina sem agitação e resina com $Fe(OH)_3$ na ordem de 0,62 a 0,80.

Os piores níveis de correlação com a produção de matéria seca das plantas foram obtidos pelos extratores H_2SO_4 0,5N e papel de filtro impregnado com $Fe(OH)_3$ com agitação e na ordem de 0,50 e 0,20, respectivamente.

Estabelecendo-se as equações polinomiais para relacionar a produção da matéria seca da planta e o fósforo extraído dos solos, verifica-se a superioridade dos métodos H_2SO_4 0,05N, Mehlich, resina (IAC) e papel de filtro impregnado com $Fe(OH)_3$ sem agitação, em relação aos demais. Estes resultados repetem-se nas partes aéreas e subterrâneas das plantas, com apenas uma tendência da segunda parte ter r^2 um pouco maiores.

Tabela 18 - Nível de correlação (r) entre a resposta da planta, em matéria seca e os conteúdo de fósforo absorvido, em relação aos teores do elemento em agrupamento de solos mais argilosos (argila > 20%), com auxílio dos vários métodos testados, através do teste t.

EXTRATORES DE P	MATÉRIA SECA (g/VASO)			FÓSFORO ABSORVIDO (mg P/vaso)		
	PARTE AÉREA	PARTE SUBTERRÂNEA	PLANTA (TOTAL)	PARTE AÉREA	PARTE SUBTERRÂNEA	PLANTA (TOTAL)
H ₂ SO ₄ 0,05N	0,915**	0,915**	0,922**	0,825**	0,950**	0,753*
H ₂ SO ₄ 0,5N	0,601*	0,513 ^{ns}	0,515 ^{ns}	0,652*	0,708*	0,558*
Mehlich	0,915**	0,848**	0,875**	0,846**	0,910**	0,766**
Resina (IAC)	0,879**	0,839**	0,867**	0,799**	0,931**	0,704**
Resina Fe(OH) ₃	0,755**	0,791**	0,753**	0,768**	0,899**	0,649*
Resina s/agit.	0,616*	0,800**	0,673*	0,736**	0,848**	0,659*
Papel-Fe c/agit.	0,361 ^{ns}	0,173 ^{ns}	0,226 ^{ns}	0,327 ^{ns}	0,375 ^{ns}	0,296 ^{ns}
Papel-Fe s/agit.	0,887**	0,908**	0,910**	0,799**	0,954**	0,748**

^{ns} Não significativo;

* Significativo a 5% de probabilidade no teste t;

** Significativo a 1% de probabilidade no teste t.

Tabela 19 - Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta em matéria seca da planta em agrupamento de solos arenosos (argila > 20%), em face à análise da terra.

PARÂMETROS USADOS NO MODELO MAIS AJUSTADO AOS DADOS		PORCENTAGEM DE VARIAÇÃO EXPLICADA PELOS PARÂMETROS g MATÉRIA SECA NAS PARTES DA PLANTA/VASO ¹		
EXTRATOR DE P	ARGILA (%)	PARTE AÉREA	PARTE SUBTERRÂNEA	PLANTA (TOTAL)
H ₂ SO ₄ 0,05N	Não	82**	82**	82**
H ₂ SO ₄ 0,05N	Sim	83**	92**	85**
H ₂ SO ₄ 0,5N ²	Não	41 ^{ns}	57*	50*
H ₂ SO ₄ 0,5N ²	Sim	64 ^{ns}	61*	62 ^{ns}
Mehlich ²	Não	81**	79**	81**
Mehlich ²	Sim	83**	85**	81**
Resina (IAC) ²	Não	76**	80**	79**
Resina (IAC) ²	Sim	77**	88**	80**
Resina Fe(OH) ²	Não	59*	69**	65*
Resina-Fe(OH) ² ₃	Sim	60*	80**	65*
Resina-s/agitação	Não	45*	68**	55*
Resina-s/agitação	Sim	54*	75**	60 ^{ns}
Papel-Fe-c/agitação	Não	19 ^{ns}	23 ^{ns}	19 ^{ns}
Papel-Fe-c/agitação	Sim	57 ^{ns}	37 ^{ns}	39 ^{ns}
Papel-Fe-s/agitação	Não	79**	82**	83**
Papel-Fe-s/agitação	Sim	82**	88**	83**

^{ns} não significativo;

* Significativo a 5% de probabilidade no teste F;

** Significativo a 1% de probabilidade no teste F;

¹ Dados transformados em $\ln(x)$;

² Dados transformados em $\sqrt{x}$.

Todavia, a inclusão do parâmetro % de argila (textura) nesses modelos matemáticos ocasionou maior proximidade das eficiências dos extratores entre si.

Entretanto, como pode ser observado na Tabela 19, a maior eficiência dos extratores com H_2SO_4 0,05N, Mehlich, resina (IAC) e papel de filtro com $Fe(OH)_3$ sem agitação, em explicar a resposta da planta em matéria seca foi mantida e mesmo com a inclusão da % de argila.

Quanto ao nível de correlação (r ou R) entre a resposta da planta em absorção de P e o teor do elemento extraído do solo, observa-se o melhor desempenho dos métodos H_2SO_4 0,05N, Mehlich, resina sem agitação e papel- $Fe(OH)_3$ (sem agitação), na ordem de 0,75 a 0,95.

Na Tabela 20, encontram-se os resultados de r^2 obtidos pelos extratores e comprovam as tendências dos valores variáveis de correlação com o fósforo absorvido pelas partes aérea, subterrânea e planta inteira.

O nível de explicação dos modelos para prever a absorção de P a partir dos extratores H_2SO_4 0,5N e papel- $Fe(OH)_3$ com agitação foi sensivelmente ampliado, considerando a % de argila como parâmetro complementar, embutindo desse modo o fator capacidade nesses modelos. Todavia, a inclusão da % de argila (fator capacidade) em associação aos valores de P extraído dos solos (fator quantidade) teve aumentada a capacidade de previsão da resposta em absorção de P, com maior ênfase na parte subterrânea, quando se analisou o agrupamento de solos mais argilosos (argila > 20%).

Tabela 20 - Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta em absorção de fósforo pela planta em agrupamento de solos mais argilosos (argila > 20%), em face a análise da terra.

PARÂMETROS USADOS NO MODELO MAIS AJUSTADO AOS DADOS		PORCENTAGEM DE VARIAÇÃO EXPLICADA PELOS PARÂMETROS mg FÓSFORO ABSORVIDO NAS PARTES DA PLANTA/VASO ¹		
EXTRATOR DE P	ARGILA (%)	PARTE AÉREA	PARTE SUBTERRÂNEA	PLANTA (TOTAL)
H ₂ SO ₄ 0,05N	Não	66**	88**	87**
H ₂ SO ₄ 0,05N	Sim	68**	92**	86**
H ₂ SO ₄ 0,5N ¹	Não	44**	66**	60*
H ₂ SO ₄ 0,5N ¹	Sim	50**	70*	63*
Mehlich ¹	Não	71**	85**	63*
Mehlich ¹	Sim	71**	88**	70**
Resina (IAC) ¹	Não	70**	88**	65**
Resina (IAC) ¹	Sim	70**	92**	66**
Resina Fe(OH) ₃ ¹	Não	59*	80**	62**
Resina-Fe(OH) ₃ ¹	Sim	59*	82**	63*
Resina-s/agitação	Não	53*	75**	49 ^{ns}
Resina-s/agitação	Sim	57*	76**	51*
Papel-Fe-c/agitação	Não	36 ^{ns}	28 ^{ns}	32 ^{ns}
Papel-Fe-c/agitação	Sim	52 ^{ns}	44 ^{ns}	46 ^{ns}
Papel-Fe-s/agitação	Não	69*	88**	63*
Papel-Fe-s/agitação	Sim	69*	89**	65*

^{ns} não significativo;

* Significativo a 5% de probabilidade no teste F;

** Significativo a 1% de probabilidade no teste F;

¹ Dados transformados em $\sqrt{x}$.

A idéia de que o fator quantidade era fornecido pelos extratores químicos mais enérgicos como soluções de ácidos fortes, enquanto que extratores menos energéticos davam idéia do fator intensidade, já era conhecida por WIKLANDER (1950). A maior importância dos fatores quantidade e/ou intensidade na disponibilidade de P nos solos foi bem evidenciada pelos trabalhos revisados por RAIJ (1978), mas de acordo com BAHIA FILHO *et alii* (1983), MUNIZ (1983) e SILVA (1990), é necessário incluir outros fatores, como sugere o uso do fator capacidade representado pelo parâmetro % de argila, ou ainda, a participação mais efetiva do fator difusão obtido pelo método de papel- Fe(OH)_3 (VOLKWEISS & COREY,¹); MENON *et alii*, 1989b) ocasionando, sem dúvida um aumento sensível na exatidão da diagnose da disponibilidade de P nos solos para as plantas.

4.4. Avaliação de parâmetros complementares do solo em auxílio à previsão da resposta biológica ao fósforo

Considera-se que a absorção de fósforo pela planta e o seu crescimento em matéria seca estão principalmente relacionados à quantidade do elemento no solo, mas existem outros fatores que interferem nestes processos biológicos. Os dados foram submetidos aos cálculos de diversas

¹ VOLKWEISS, S.J. & COREY, R.B. Método de extração de fósforo de solos controlada por difusão para avaliar sua disponibilidade para as plantas. Trabalho apresentado na 18^a Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, Guarapari, 1988.

regressões, envolvendo todas as variáveis medidas no solo. Para avaliar as variáveis que podem complementar a capacidade de previsão da absorção de P da planta, empregou-se o coeficiente padrão (CP), proposto por MALLÖWS (1973).

O CP de Mallöws é calculado para todas as possíveis combinações de parâmetros em diversas regressões e, segundo o autor, o melhor modelo é aquele onde tal coeficiente for o melhor possível (MALLÖWS, 1973).

Os dados de produção de matéria seca na planta inteira no ensaio foram analisados estatisticamente com o auxílio do CP de Mallöws (Tabela 21), verifica-se que uma série de parâmetros auxiliares interferem nesta diagnose, tais como o teor de potássio (K), de magnésio (Mg), acidez total (H+AL), soma de bases (S), capacidade de troca (TD), saturação de bases (V%), densidade de T.F.S.A. (dTSA), cálcio (Ca), pH em água (pH(H₂O)), pH em solução de CaCl₂ 0,01M (pH CaCl₂), matéria orgânica (MO%) e argila (%).

Os parâmetros complementares que influíram na eficiência das soluções ácidas (H₂SO₄ 0,05N, H₂SO₄ 0,5N e Mehlich) para diagnosticar o "P disponível" para a cana-de-açúcar foram relacionados à reação solo, tais como a acidez total (H+AL), soma e saturação de bases (S e V%), e CTC (TD). Além da influência da acidez do solo, ocorre o efeito da variabilidade nas texturas dos solos, mensurados anteriormente pela porcentagem de argila destes, ou ainda, avaliada pela densidade de terra fina seca no ar (dTSA), cujos parâmetros refletem o "fator capacidade" (poder tampão) na disponibili-

dade P nos solos. A influência da acidez para a diagnose do "fósforo disponível" no solo já foi anteriormente usada com relativo sucesso por FUZATTO & CAVALERI (1966) para predizer a resposta do algodoeiro, em colaboração ao "P extraído" pelo H_2SO_4 0,05N à adubação fosfatada.

As técnicas com o emprego da resina trocadora de íons e do papel de filtro impregnado de hidróxido férrico foram influenciadas pela reação do solo, mas também pelo teor de matéria orgânica presente, o que se assemelha com os resultados obtidos por GRANDE *et alii* (1986) para o extrator de Mehlich em cultivo de arroz irrigado.

O método de resina trocadora de íons (IAC) foi a única técnica que não teve a textura dos solo como parâmetro complementar importante no modelo.

Para avaliar o incremento na capacidade de previsão dos modelos em decorrência da indução de novos parâmetros, devem ser comparados os coeficientes de determinação (r^2) entre a resposta em matéria seca da planta com o P extraído e a argila (%) (Tabela 13), após incluir as demais variáveis (Tabela 21).

O ganho em pontos percentuais na previsão dos modelos (r^2) foi decrescente no sentido dos extratores papel de filtro impregnado com $Fe(OH)_3$ com e sem agitação, resina (sem agitação e $Fe(OH)_3$ precipitado), H_2SO_4 0,5N, H_2SO_4 0,05N, resina (IAC) e Mehlich, que obtiveram os valores respectivamente de 35, 29, 25, 25, 22, 19 e 11.

Tabela 21 - Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta em matéria seca pela planta inteira (g/vaso), em relação a análise do elemento extraído pelos vários métodos e associado à outros parâmetros do solo.

VARIÁVEIS DA REGRESSÃO		VALOR F	R^2 (%)	MALLÖWS	
PARÂM. PRINC. (EXTRATOR P)	PARÂMETROS COMPLEMENTARES			$C_p^{(1)}$	$C_p - P^{(2)}$
H_2SO_4 0,05N	K, Mg, H+Al, S, T, VC%, dTfSA e Argila (%)	6,58**	85,55	7,83	-2,169
H_2SO_4 0,5N	pHCH ₂ O), pHCCaCl ₂), K, Ca, H+Al, T, VC%, dTfSA, Argila (%)	6,18**	87,30	9,17	-1,827
Mehlich	K, Mg, H+Al, S, T e VC%, dTfSA e Argila (%)	7,76**	87,47	7,47	-2,531
Resina (IAC)	M.O.(%), pHCH ₂ O), pHCCaCl ₂), K, Mg e T	5,80**	77,19	5,21	-2,793
Resina com Fe(OH) ₃	M.O.(%), pHCH ₂ O), pHCCaCl ₂), Ca, Mg, H+Al, S, VC%, dTfSA e Argila (%)	4,93**	87,15	10,98	-1,023
Resina sem agitação	M.O.(%), Mg, H+Al, S, T, VC%, dTfSA e Argila (%)	5,78**	83,86	7,22	-2,779
Papel-Fe(OH) ₃ com agitação	M.O.(%), pHCH ₂ O), pHCCaCl ₂), Ca, Mg, H+Al, T, dTfSA e Argila (%)	6,45**	87,78	8,99	-2,006
Papel-Fe(OH) ₃ sem agitação	M.O.(%), pHCH ₂ O), pHCCaCl ₂), Ca, Mg, H+Al, dTfSA e Argila (%)	4,93**	87,15	10,98	-1,023

¹ Coeficiente padrão de Mallows (cp);

² Diferença entre o valor do C_p de Mallows e o número de parâmetros envolvidos no modelo ajustado (p);

** Significativo a 1% de probabilidade.

Por outro lado, a avaliação dos dados de absorção de P na planta inteira no ensaio foi analisada estatisticamente com o auxílio do CP de Mallöws (Tabela 22), onde se testou uma série de parâmetros auxiliares.

Nota-se que os teores de "P disponível" pelos extratores ácidos, resina (IAC) e o papel de filtro com Fe(OH)_3 (sem agitação) foram basicamente influenciados pelas condições de pH (H_2O ou CaCl_2 0,01M) do solo, o que demonstra uma estreita relação entre a absorção do elemento pelo vegetal com a acidez (MALAVOLTA, 1976 e RAIJ, 1987).

Os extratores H_2SO_4 0,05N e a resina (IAC) e com Fe(OH)_3 precipitado, mostraram ser independente o processo de absorção de P pela planta da textura dos solos.

Os métodos do H_2SO_4 0,5N, papel com Fe(OH)_3 (com agitação) e resina sem agitação foram relacionados com a acidez (reação) dos solos, mensurados pelos parâmetros T, S, Ca, Mg H+ AL e V(%).

O incremento em pontos percentuais na capacidade de previsão dos modelos (r^2) para a absorção de P pela planta, comparando-se com o P extraído pelos vários métodos e a % de argila (Tabela 14) e após a inclusão dos demais parâmetros do solo (Tabela 22), foi decrescente no sentido do papel de filtro impregnado com hidróxido férrico (com agitação), H_2SO_4 0,5N, resina com Fe(OH)_3 precipitado e sem agitação, papel- Fe(OH)_3 (sem agitação), Mehlich, H_2SO_4 0,05N e resina (IAC) que obtiveram os valores de 44, 28, 20, 20, 11, 11, 10, e 9, respectivamente.

Tabela 22 - Avaliação da porcentagem de variação (r^2) da resposta em conteúdo de fósforo absorvido na planta inteira (mg P/vaso), em relação a análise do elemento extraído pelos vários métodos e associado à outros parâmetros do solo.

VARIÁVEIS DA REGRESSÃO		VALOR F	R^2 (%)	MALLÖWS	
PARÂM. PRINC. (EXTRATOR P)	PARÂMETROS COMPLEMENTARES			$C_p^{(1)}$	$C_p - p^{(2)}$
H_2SO_4 0,05N	pHCH ₂ O)	21,40**	71,57	-4,38	-7,389
H_2SO_4 0,5N	pHCH ₂ O), pH(CaCl ₂) ₂ , Ca, Mg, H+Al, S, T, V(%), dTFSA e Argila (%).	12,72**	94,59	10,04	-1,964
Mehlich	pHCH ₂ O), pH(CaCl ₂) ₂ e Argila (%)	20,29**	84,40	-0,28	-5,280
Resina (IAC)	pHCH ₂ O), pH(CaCl ₂) ₂	14,44**	73,02	-3,34	-7,337
Resina com Fe(OH) ₃	M.O.(%), pHCH ₂ O), pH(CaCl ₂) ₂ e Ca	10,11**	78,31	3,05	-2,948
Resina sem agitação	H+Al, T, V(%), dTFSA e Argila	7,21**	80,80	3,85	-4,150
Papel-Fe(OH) ₃ com agitação	M.O.(%), pHCH ₂ O), pH(CaCl ₂) ₂ , K, Ca, Mg, H+Al, S, T, V(%), dTFSA e Argila (%)	25,96**	98,30	14,00	0,000
Papel-Fe(OH) ₃ sem agitação	pHCH ₂ O), e Argila	10,14**	85,53	-2,60	-6,601

¹ Coeficiente padrão de Mallovs (cp);

² Diferença entre o valor do Cp de Mallovs e o número de parâmetros envolvidos
no modelo ajustado (p);

** Significativo a 1% de probabilidade.

Através do teste de Mallöws, verifica-se que os extratores resina trocadora de íons (IAC) e o H_2SO_4 0,05N são as técnicas com menor influência de outros fatores do solo.

4.5. Avaliação comparativa entre os métodos de extração de fósforo do solo

O conhecimento do nível de correlação entre os teores de fósforo extraídos por dois métodos distintos pode ter importância prática pois, em casos onde ocorre um estreito relacionamento destes e contando com uma equação de regressão específica, poder-se-ia prever o comportamento de dados de um extrator qualquer, baseado em valores de outra metodologia.

Na Tabela 23 estão as correlações entre os diferentes extratores de P testados donde se verifica uma elevada correlação entre os extratores com soluções ácidas e a extração com resina.

O uso das técnicas com papel de filtro impregnados com hidróxido férrico com agitação, já evidenciou correlações menores com os demais extratores, o que, mais uma vez demonstra os problemas dessa metodologia.

Nota-se ainda uma variação no coeficiente de correlação entre os métodos da resina (sem agitação) e papel- $Fe(OH)_3$ (sem agitação), o que pode indicar uma variabilidade de causas desconhecidas dentro dessas metodologias, que prejudicam as correlações entre si.

Tabela 23 - Avaliação do nível de correlação dos teores de fósforo extraídos dos solos, obtidos pelos diversos métodos testados entre si, com o auxílio do teste t.

EXTRATOR	H ₂ SO ₄ 0,05N	H ₂ SO ₄ 0,5N	"CAROLINA DO NORTE"	RESINA (IAC)	RESINA C/Fe(OH) ₃	RESINA S/AGIT.	PAPEL-FE C/AGIT.	PAPEL-FE S/AGIT.
H ₂ SO ₄ 0,05N	-	0,899**	0,961**	0,930**	0,949**	0,884**	0,764**	0,934**
H ₂ SO ₄ 0,5N	0,899**	-	0,830**	0,896**	0,937**	0,845**	0,640**	0,856**
"Carolina"	0,961**	0,830**	-	0,888**	0,863**	0,816**	0,778**	0,948**
Resina (IAC)	0,930**	0,896**	0,888**	-	0,959**	0,855**	0,644**	0,821**
Resina-Fe	0,949**	0,937**	0,863**	0,959**	-	0,916**	0,650**	0,868**
Resina s/agit.	0,884**	0,845**	0,816**	0,855**	0,916**	-	0,751**	0,697**
Papel-Fe c/agit.	0,764**	0,640**	0,778**	0,644**	0,650**	0,751**	-	0,788**
Papel-Fe s/agit.	0,934**	0,856**	0,948**	0,821**	0,868**	0,697**	0,788**	-

** Significativo no teste t a 1% de probabilidade.

Notou-se no ensaio uma interferência variável da textura (% de argila) dos solos na capacidade extratora dos métodos (Tabela 24). Portanto, visando uma melhor avaliação do nível de correlação dos teores de fósforo extraídos pelos diferentes métodos, procedeu-se o estudo da capacidade de extração das várias técnicas em decorrência de grupos de solos de textura mais homogênea.

No grupo de solos mais arenosos (argila % < 20) constata-se valores de correlação elevado dos diferentes métodos entre si, na ordem de 0,90, evidenciando que os extratores de P testados não são problemáticos em solos mais arenosos.

O problema dos extratores de P surgem quando o P-lábil ocorre em um solo de mais elevada capacidade tampão, o que frequentemente apresenta-se em solos argilosos.

RAIJ *et alii* (1984) discutiram um sério defeito dos extratores ácidos em solos argilosos: retirarem um baixo teor de fósforo neste tipo de solos, principalmente os latossolos roxos, mesmo em condições de suprimento adequado de elemento para as culturas.

Nota-se para os solos argilosos uma melhor correlação entre os métodos da resina normal e com $\text{Fe}(\text{OH})_3$ precipitado, com os extratores ácidos mais diluídos (H_2SO_4 0,05N e Mehlich) e o papel de filtro impregnado com hidróxido férrico sem agitação, em relação às demais técnicas (Tabela 24).

Tabela 24 - Avaliação do nível de correlação dos teores de fósforo extraídos em solos agrupados pela textura (% argila), obtidos pelos diversos métodos testados entre si, com auxílio do teste t.

AGRUPAMENTO DOS SOLOS EM FUNÇÃO DA TEXTURA (ARGILA %)								
EXTRATORES DE P SOLO	SOLOS ARENOSOS (ARGILA < 20%)							
	H ₂ SO ₄ 0,05N	H ₂ SO ₄ 0,5N	Mehlich	Resina (IAC)	Resina Fe	Resina S/A	Papel-Fe C/A	Papel-Fe S/A
Soluções diluídas de ácidos fortes								
H ₂ SO ₄ 0,05N	-	0,967**	0,977**	0,973**	0,988**	0,931**	0,913**	0,924**
H ₂ SO ₄ 0,5N	0,968**	-	0,955**	0,993**	0,964**	0,936**	0,837**	0,928**
Mehlich	0,977**	0,955**	-	0,977**	0,986**	0,940**	0,940**	0,899**
Resina trocadora de íons								
Resina (IAC)	0,973**	0,993**	0,977**	-	0,974**	0,956**	0,864**	0,927**
Resina c/Fe(OH) ₃	0,988**	0,964**	0,986**	0,974**	-	0,912**	0,987**	0,920**
Resina s/agit.	0,932**	0,934**	0,940**	0,956**	0,919**	-	0,799**	0,951**
Papel de filtro impregnado com Fe(OH) ₃								
Papel-Fe c/agit.	0,913**	0,837**	0,942**	0,864**	0,987**	0,799*	-	0,766**
Papel-Fe s/agit.	0,924**	0,929**	0,899**	0,927**	0,920**	0,951**	0,766**	-

* Significativo a 5% de probabilidade;

** Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 24 - Continuação.

EXTRATORES DE P SOLO	AGRUPAMENTO DOS SOLOS EM FUNÇÃO DA TEXTURA (ARGILA %)							
	SOLOS ARGILOSOS (ARGILA > 20%)							
	H ₂ SO ₄ 0,05N	H ₂ SO ₄ 0,5N	Mehlich	Resina (IAC)	Resina Fe	Resina S/A	Papel-Fe C/A	Papel-Fe S/A
Soluções diluídas de ácidos fortes								
H ₂ SO ₄ 0,05N	-	0,700*	0,970**	0,947**	0,913**	0,855**	0,470 ^{ns}	0,844**
H ₂ SO ₄ 0,5N	0,700*	-	0,779**	0,830**	0,843**	0,688*	0,873**	0,729**
Mehlich	0,972**	0,779**	-	0,934**	0,881**	0,789**	0,572 ^{ns}	0,898**
Resina trocadora de íons								
Resina (IAC)	0,947**	0,830**	0,930**	-	0,956**	0,803**	0,594 ^{ns}	0,935**
Resina c/Fe(OH) ₃	0,913**	0,843**	0,881**	0,956**	-	0,901**	0,642*	0,907**
Resina s/agit.	0,855**	0,688*	0,789**	0,803**	0,901**	-	0,425 ^{ns}	0,768**
Papel de filtro impregnado com Fe(OH) ₃								
Papel-Fe c/agit.	0,471 ^{ns}	0,873**	0,572 ^{ns}	0,594*	0,642*	0,425 ^{ns}	-	0,458 ^{ns}
Papel-Fe s/agit.	0,844**	0,729**	0,898**	0,935**	0,908**	0,768**	0,458 ^{ns}	-

^{ns} Não significativo;

* Significativo a 5% de probabilidade;

** Significativo a 1% de probabilidade.

A solução de ácido sulfúrico 0.5N provavelmente extraiu mais fósforo dos solos em comparação a referências biológica, porque talvez tenha dissolvido o "fósforo não disponível" contido em fosfatos naturais em alguns solos (RAIJ *et alii*, 1984), devido a um efeito de concentração da referida solução.

As técnicas de empregar a resina sem agitação e o papel impregnado com hidróxido férrico (papel-Fe) com agitação em virtude das baixas correlações com os demais métodos, evidencia a necessidade de solucionar-se ainda alguns problemas metodológicos.

Finalizando as análises estatísticas do ensaio, estabeleceu-se a geração de regressão linear entre as várias técnicas empregadas, visualizando a possibilidade de predizer-se o comportamento de um extrator a partir de outro.

Na Tabela 25, constata-se que os métodos de extração com a solução de H_2SO_4 0,05N, Mehlich, resina (IAC) e precipitada com $Fe(OH)_3$ foram as técnicas correlacionada entre si, em todos os solos, como verifica-se pelos valores de R^2 maiores. Em geral, no ensaio foram os métodos que apresentaram a maior capacidade de previsão do comportamento de absorção de P em solos mais argilosos, principalmente.

Todavia, essa correlação significativa entre P pela resina e P- H_2SO_4 0,05N é contrária aos resultados obtidos por RAIJ *et alii* (1986) e ainda, os valores do primeiro método foram em média superiores.

Tabela 25 - Avaliação comparativa da porcentagem de variação (R^2) dos teores de fósforo do solo pelos vários extratores testados entre si, estabelecidos com o auxílio de regressões lineares.

VARIÁVEIS		MODELO	R^2 (%)
X	Y	$y = A + B \cdot x$	
H_2SO_4 0,05N	H_2SO_4 0,05N	$y = 4.2058 + 0.1315 \cdot x$	71**
	Mehlich	$y = 2.3439 + 0.0889 \cdot x$	87**
	Resina (IAC)	$y = 2.1482 + 0.1015 \cdot x$	81**
	Resina-Fe	$y = 2.0175 + 0.1052 \cdot x$	85**
	Resina s/agitação	$y = 1.5264 + 0.5415 \cdot x$	81**
	Papel-Fe c/agitação	$y = 1.5582 + 0.1067 \cdot x$	45*
	Papel-Fe s/agitação	$y = 0.7255 + 0.0273 \cdot x$	77**
H_2SO_4 0,5N ¹	Mehlich	$y = 0.9688 + 0.4708 \cdot x$	59**
	Resina (IAC)	$y = -0.2929 + 0.6594 \cdot x$	83**
	Resina-Fe	$y = -0.4128 + 0.6695 \cdot x$	83**
	Resina s/agitação	$y = -8.4567 + 3.0921 \cdot x$	64**
	Papel-Fe c/agitação	$y = -1.7196 + 0.7925 \cdot x$	61**
	Papel-Fe s/agitação	$y = 0.2584 + 0.1509 \cdot x$	57**
Mehlich ¹	Resina (IAC)	$y = 0.4514 + 0.9158 \cdot x$	60**
	Resina-Fe	$y = 0.1111 + 0.9832 \cdot x$	68**
	Resina s/agitação	$y = -8.7996 + 5.1787 \cdot x$	68**
	Papel-Fe c/agitação	$y = -1.5667 + 1.2718 \cdot x$	59**
	Papel-Fe s/agitação	$y = 0.1285 + 0.2789 \cdot x$	73**
Resina (IAC) ¹	Resina-Fe	$y = 0.0500 + 0.9778 \cdot x$	93**
	Resina s/agitação	$y = -6.8332 + 4.6326 \cdot x$	75**
	Papel-Fe c/agitação	$y = 0.2865 + 0.8276 \cdot x$	35*
	Papel-Fe s/agitação	$y = 0.4237 + 0.2066 \cdot x$	56*
Resina-Fe ¹	Resina s/agitação	$y = -7.1698 + 4.7605 \cdot x$	82**
	Papel-Fe c/agitação	$y = -0.2905 + 0.9687 \cdot x$	49*
	Papel-Fe s/agitação	$y = 0.3572 + 0.2241 \cdot x$	68**
Resina s/agitação	Papel-Fe c/agitação	$y = 1.8752 + 0.1517 \cdot x$	33*
	Papel-Fe s/agitação	$y = 0.7712 + 0.0415 \cdot x$	65**
Papel-Fe c/agitação	Papel-Fe s/agitação	$y = 0.8287 + 0.1289 \cdot x$	43*

¹ Dados transformados em $\sqrt{x}$;

* Significativo a 5% de probabilidade no teste F;

** Significativo a 1% de probabilidade no teste F.

5. CONCLUSÕES

Face aos dados obtidos, submetidos às análises estatísticas, e conforme as discussões apresentadas anteriormente, chegam-se às seguintes principais observações:

1. A maior amplitude de discriminação de teores médios de fósforo nos diversos solos foi verificada com o uso de solução de ácido sulfúrico diluída (0,05N e 0,5N), enquanto os extratores resina (IAC), Mehlich, resina $(\text{Fe}(\text{OH})_3)$, resina (sem agitação) e papel- $(\text{Fe}(\text{OH})_3)$ (com agitação) apresentaram-se, respectivamente, numa faixa intermediária, sendo a menor amplitude encontrada para o papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (sem agitação).
2. A análise da variância para a produção de matéria seca das partes aérea, subterrânea e planta inteira e os conteúdos de fósforo absorvido, evidenciaram um efeito significativo para os diferentes solos testados, comprovando o diferente potencial de fornecimento de fósforo dos solos escolhidos.
3. O método do papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (com agitação) mostrou um coeficiente de variação elevado, ocasionando um nível de correlação do P extraído pelo método com as produções de matéria seca e os conteúdos de fósforo absorvido mais baixo, o que indica variações aleatórias da técnica e justifica maiores esforços na solução de problemas da metodologia proposta.

4. O método de papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (sem agitação) mostrou-se promissor na discriminação das medidas dos solos, mas necessita aumentar a quantidade de P extraído destes, ampliando assim a faixa de amplitude da técnica.
5. O nível de explicação (r^2) para o comportamento de produção de matéria seca na parte subterrânea das plantas a partir do P extraído e/ou com % de argila dos solos, foi maior para as técnicas de Mehlich, H_2SO_4 0,05N e resina (IAC). Quando se analisou o nível de explicação (r^2) na parte aérea, verificou-se a superioridade das técnicas de Mehlich e resina (IAC).
6. Todavia, o nível de variação (r^2) da resposta em absorção de fósforo na planta inteira explicada pelo teor do elemento analisado no solo, obtendo os resultados mais favoráveis para os extratores: H_2SO_4 0,5N e resina IAC.
7. Nos solos arenosos (argila < 20%), verifica-se um comportamento semelhante entre os extratores testados e o nível de correlação com os conteúdos de fósforo absorvidos nas partes das plantas. Nestas condições, a resina (IAC) apresentou-se com os melhores resultados no ensaio.
8. A inclusão do fator capacidade (% de argila) no modelo multivariado em solos arenosos para prever a disponibilidade de fósforo, ocasionou um aumento no seu poder de previsão e, simultaneamente, ocorreu um nivelamento nos coeficientes de determinação (r^2) para todos os métodos.
9. Para o nível de explicação (r^2) entre a resposta da planta em absorção de P na planta e o teor de elemento extraído dos solos mais argilosos (argila % > 20),

constatou-se o melhor desempenho dos métodos de Mehlich, resina (IAC) e o papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (sem agitação), em relação às demais técnicas. A introdução do parâmetro textura (% de argila) em modelos multivariados para prever a disponibilidade de P, ocasionou uma tendência de nivelar e aumentar os valores de r^2 , mas manteve-se a superioridade dos métodos já citados.

10. Notou-se que os teores de "P disponível" pelos extratores ácidos, resina e o papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (sem agitação) foram basicamente influenciados pelas condições de pH (H_2O ou CaCl_2 0,01M) do solo, o que demonstra uma estreita relação entre a absorção do elemento pela planta e acidez do meio (pH).
11. Considerando-se todos os solos, obteve-se um nível de correlação elevado entre as soluções ácidas e a resina trocadora de íons (IAC). No agrupamento de solos mais arenosos (argila < 20%), verificou-se uma correlação elevada para todos os métodos entre si. No agrupamento de solos mais argilosos (argila > 20%), notou-se valores mais altos de correlação (R) acima de 0,80, entre o "P disponível", pelos extratores H_2SO_4 0,05N, Mehlich ou "Carolina do Norte", resina (IAC), resina ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) e papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (sem agitação), o que, novamente repetem-se os bons resultados destas técnicas no ensaio.

Face a estas observações, pode-se concluir que:

1. Os solos foram bem escolhidos, comprovado pelos diferentes potenciais de fornecimento de fósforo para as plantas, mas permitindo um contraste parcial dos métodos de extração de P.
2. O crescimento do vegetal em matéria seca e a absorção de fósforo nas partes da planta foram melhor expli-

cados pelos teores de P extraído e de argila (textura) dos solos e a acidez (pH) do meio.

3. Nos solos arenosos, ocorreu um bom desempenho de todas as técnicas de extração de fósforo testadas.
4. Em solos argilosos, na maioria das vezes, verificou-se a superioridade dos métodos de Mehlich e resina (IAC), em relação as técnicas.
5. Na avaliação conjunta dos parâmetros intensidade e quantidade (representado pelo P extraído pelos vários métodos) e capacidade (representado pela % de Argila) na previsão da disponibilidade de fósforo para as plantas inteiras, verificou-se uma tendência de nivelamento nos valores de r^2 dos modelos, mas manteve-se o melhor desempenho da resina (IAC) e resultados favoráveis de H_2SO_4 0,5N e Mehlich.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELALL, R.S. & RÖMER, W. Labile and anion extractable phosphate in calcareous soils and their suitability for characterizing the phosphate availability. *Zeitschrift fuer Pflanzenernaehrung Bodenkunde*, Wageningen, 141(3): 655-63, 1978.
- ADEPOJU, A.Y.; PRATT, P.F.; MATTIGOD, S.V. Availability and Extractability of Phosphorus from soils having phosphorus. *Soil Science Society of America Journal*, Madison 46(3): 583-8, 1982.
- AGBOOLA, A.A. Correlation of soil tests for available phosphorus with maize in soil derived from metamorphic and igneous rocks of Western State of Nigeria. *West African Journal of Biological and Applied Chemistry*, Ibadan, 16: 14-23, 1973.
- ALABBAS, A.H. & BARBER, S.A. A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus. II. Development of the soil test. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 28: 221-4, 1964.
- AMER, F.; BOULDIN, D.R.; BLACK, C.A.; DUKE, F.R. Characterization of soil phosphorus by anion-exchange resin adsorption and P^{32} equilibration. *Plant and Soil*, Hague, 4: 391-408, 1955.

- ANDERSEN, A. J. & MORGENSEN, T. A Comparison of various laboratory methods for determining the phosphate conditions in soils. *Acta Agriculturae Scandinavica*, Stockholm, 12: 315-23, 1962.
- AQUINO, B. F. & HANSON, R. G. Soil phosphorus supplying capacity evaluated by plant removal and available phosphorus extraction. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 48(4): 1091-6, 1987.
- AYODELE, O. J.; AGBOOLA, A; SOBULO, R. A. Evaluation of phosphorus sorption capacity and phosphorus extractants for assessing phosphorus requirements of maize in Western Nigeria savannth soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 13(4): 295-307, 1982.
- BACHE, B. W. & IRELAND, C. Desorption of phosphate from soils using anion exchange resins. *Journal of Soil Science*, Baltimore, 31: 297-306, 1980.
- BACHE, B. W. & ROGERS, N. E. Soil phosphate values in relation to phosphate supply to plants from some Nigerian soils. *Journal of Agricultural Science*, Oxford, 74: 383-90, 1970.
- BAHIA FILHO, A. F. C. & BRAGA, J. M. Fósforo em latossolo do Estado de Minas Gerais: II. Quantidade de fósforo "disponível". *Revista Ceres*, Viçosa, 22(119): 50-61, 1975.
- BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M.; RIBEIRO, J. M; NOVAIS, R. F. Sensibilidade de extratores químicos à capacidade de Tampão de fósforo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas 7(3): 243-9, 1983.
- BAKER, D. E. & HALL, J. K. Measurement of phosphorus availability in acid soils of Pennsylvania. *Soil Science*

- Society of America Proceedings, Madison, 31: 662-7, 1967.
- BARBER, S.A. Growth requirements for nutrients in relation to demand of the root surface. In: HARLEY, J.L. & RUSSEL, S.R., ed. The soil-root interface. London, Academic Press, 1979. p.5-20.
- BARBOSA, J.O. O Problema da heterocedasticidade na análise de variância. Seminários de C.P.G. em "Estatística e Experimentação Agronômica", da ESALQ/USP. 1º Semestre de 1983. Piracicaba. 14p.
- BARROW, N.J. & SHAW, T.C. Factors affecting the amount of phosphate extracted from soil by anion exchange resin. Geoderma, Amsterdam, 18(4): 309-23, 1977.
- BATAGLIA, O.C. Sistemas de irrigação em vasos para experimento de adubação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 13: 81-6, 1989.
- BECKETT, P.H.T. & WHITE, R.E. Studies on phosphate potentials of soils inorganic phosphate. Plant and Soil, Hague, 21: 253-82, 1964.
- BHAN, C. & SHANKER, H. Correlation of available phosphorus values obtained by different methods with phosphorus uptake by paddy. Journal of the Indian Society of Soil Science, New Delhi, 21: 177-80, 1973.
- BITTENCOURT, V.C.; ORLANDO F², J.; ZAMBELLO Jr., E. Determination of available P for sugar cane in tropical soils by extraction with H_2SO_4 0.5N. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16., São Paulo, 1977. Proceedings. São Paulo, Impress, 1978, v.2, p.1175-86.

- BLANCKAR, R.W. & CALDWELL, A.C. Phosphorus uptake by plants and readily extractable phosphorus in soils. *Agronomy Journal*, Madison, 56: 218-21, 1964.
- BOWMAN, R.A.; OLSEN, WATANABE, F.S. Greenhouse evaluation of residual phosphate by four phosphorus methods in neutral and calcareous soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 42: 451-4, 1978.
- BRAY, R.H. & KURTZ, L.T. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, Baltimore, 59(1): 39-45, 1945.
- CABALA, F.P. & SANTANA, M.B.M. Comparação de extratores químicos de fósforo em solos do sul da Bahia. *Turrialba*, San Jose, 22(1): 19-26, 1972.
- CABALA, R.P. & SANTANA, M.B.M. Disponibilidade de fósforo e sua diagnose pela análise de solo. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 18., Ilhéus, 1981. Comunicações da equipe de fertilidade do Centro Nacional de Pesquisa do Cacau. Ilhéus, 1981. p.50-7.
- CABALA, R.P. & SANTANA, M.B.M. Disponibilidade e diagnose de fósforo pela análise química do solo com referência ao Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 7(2) 109-18, 1983.
- CABALA, R.P. & WILD, A. Direct use of low grade phosphate rock Brasil as fertilizer. Effect of reaction time in soil. *Plant and Soil*, Hague, 65(2): 351-62, 1982.
- CAJUSTE, L.J. & KUSOW, W.R. Use and limitations of the North Carolina method to predict available phosphorus in some oxisols. *Tropical Agriculture*, Trinidad, 51(1): 246-52, 1974.

- CAMARGO, O.A. de; RAIJ, B. van; GROHMANN, F. Fixação do fósforo em solos avaliada pelo índice de Bache e Willians e sua correlação com outras propriedades. *Ciência e Cultura*, São Paulo, 26(7): 681-5, jul. 1974.
- CAMARGO, O.A. de; MONIZ, A.C.; JORGE, T.A.; VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, Instituto Agronômico, 1986. 94p. (IAC. Boletim Técnico, 106).
- CATANI, R.A. & BATAGLIA, O.C. Formas de ocorrência do fósforo no solo latossolo roxo. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, 25(1): 99-119, 1968.
- CATANI, R.A. & JACINTHO, A.O. *Análise química para avaliar a fertilidade do solo; métodos de análise*. Piracicaba, Livroceres, 1974. 61p.
- CATANI, R.A. & GARGANTINI, H. Extração do fósforo do solo pelo método de Neubauer e por métodos químicos. *Bragantia*, Campinas, 13(1): 55-62, 1954.
- CATANI, R.A.; ARRUDA, H.C.; PELEGRINO, D.; BERGAMIN F^o, H. A absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e silício pela cana-de-açúcar, Co419, e o seu crescimento em função da idade. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, 16: 167-190, 1959.
- CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science*, Baltimore, 84(1): 133-44, 1957.
- COLE, C.V. & JACKSON, M.L. Colloidal dihydroxy dihydrogen P phosphates of aluminium and iron with crystalline cha-

- rater established by electron and x-ray diffraction. *Journal Physical and Colloidal Chemical*, New York, 54(1): 128-42, 1950.
- COLWELL, J.D. The estimation of phosphorus fertilizer requirements of wheat in southern New Wales by soils analysis. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, East Melbourne, 3(1): 190-7, 1963.
- COOKE, I.J. & HISLOP, J. Use of anion exchange resin for the assesement of available soil phosphate. *Soil Science*, Baltimore, 96(3): 308-11, 1963.
- CRISANTO, T. & SUTTON, C.D. Measurement of available phosphate content of some Spanish soils. *Plant and Soil*, Hague, 39: 399-412, 1973.
- DALAL, R.C. & HALLSWORTH, E.G. Evaluation of the paramenters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and phosphorus uptake. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 40: 541-6, 1976.
- DAUGHTREY, Z.W.; GILLIAM, J.W.; KAMPRATH, E.J. Soil test parameters for assessing plant-available P of acid organic soils. *Soil Science*, Baltimore, 115: 438-46, 1973.
- DELAZARI, P.C.; BRAGA, J.M.; NOVAIS, R.F.; THIEBAUT, J.I.L. Disponibilidade de fósforo em solos do Estado de Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 4(1): 149-53, 1980.
- DIEST, A. van. Soil test correlation studies on New Jersey soils: I. Comparison of seven methods for measuring labile inorganic soil phosphorus. *Soil Science*, Baltimore, 96: 261-6, 1963.

- DIEST, A. van; JESPERSEN, H.W.; WHITE, R.F.; BLACK, C.A.
Test of two methods for measuring a labile fraction of inorganic phosphorus in soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, London, 24: 498-502, 1960.
- DUBEY, S.M.; KHERA, M.S.; OOMMEN, P.W. Evaluation of phosphorus soil tests. *Fertilizer News*, New Delhi, 18(1): 38-41, nov. 1973.
- DUPLESSIS, S.F. & BURGER, R.T. The availability of different phosphate fractions. *South African Journal Agricultural Science*, Pretoria, 9(2): 331-40, 1960.
- DYER, B. On the analytical determination of probable available mineral plant food in soils. *Transactions Chemical Society*, London, 65: 115-67, 1894.
- ÉGNER, H.; RIEHM, H.; DOMINGO, W.R. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und kaliumbestimmung. *Kungl. Lantbrukshögskolans Annaler*, 26: 199-215, 1960.
- EKPETE, D.M. Evaluation of chemical methods for the determination of available phosphorus in waterlogged soils. *Soil Science*, Baltimore, 121: 217-21, 1976.
- EL-NENNAH, M. Phosphorus in soil extracted with anion-exchange resin. I. Time dissolution relationship. *Plant Soil*, Hague, 49(3): 647-51, 1978.
- ELOFF, J.F. & LAKER, M.C. Phosphorus studies on vaalharts soils. II. The evaluation of method of P extraction, by correlation results with various wheat crop parameters. *Agrochemophysica*, New York, 10(3): 19-23, 1978.

- ELRASHIDI, M.A.; DIEST, A.V.; EL-DAMATY, A.H. Phosphorus determination in highly calcareous soils by the use of an anion exchange resin. *Plant Soil*, Hague, 42: 273-86, 1975.
- ENWEROZ, W.O. Soil testing for phosphorus in some nigerian soils. I. Comparison of methods of determining available phosphorus in soils of southeastern nigeria. *Soil Science*, Baltimore, 124(1): 27-33, 1977.
- FAGERIA, N.K. Calibração de análise de fósforo para arroz em casa de vegetação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 25(4): 579-86, 1990.
- FASSBENDER, H.W. Descripción físico-química del sistema fertilizante fosfatado-suelo-plant. *Turrialba*, San Jose, 16: 237-46, 1966.
- FASSBENDER, H.W. Química del suelos; con énfases en suelos de América Latina. San José, IICA, 1984. 422p.
- FEITOSA, C.T. & RAIJ, B. van. Influência da natureza de fosfatos aplicados a dois solos no fósforo solúvel em extractores químicos e em dois cultivos para trigo e milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, 1976. *Anais*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.215-20.
- FOLE, D.A. & GRIMM, S.S. Avaliação do efeito residual do fósforo por método de extração e modelos matemáticos no oxissolo Passo Fundo. *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, 9(2): 205-21, 1973.
- FORD, M.C. The nature of phosphorus fixation in soils. *Journal of American Society of Agronomy*, Genova, 25(1): 134-44, 1933.

- FOX, R.L. & KAMPRATH, E.J. Phosphate adsorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soil. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 34(4): 902-7, 1970.
- FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M.; FRANÇA, G.C.; SANTOS, H.L.; SANTOS, P.R.R.S. Adubação fosfatada para a cultura da soja (*Glycine máx.* (L.) Merrill) baseada no fósforo disponível e no fator "capacidade". Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 3(2): 105-11, 1979.
- FULLIN, E.A. Avaliação do fósforo disponível do solo pelo método da resina trocadora de ânions. Viçosa, 1986. 76p. (M.S. - Universidade Federal de Viçosa).
- FUSATTO, M.G. & CAVALERI, P.A. Correlação entre a resposta do algodoeiro à adubação fosfatada e a análise química, do solo, nas condições do Estado de São Paulo. Bragantia, Campinas, 25(37): 407-20, 1966.
- GLÓRIA, N.A. da. & CHITOLINA, J.C. Solubilidade e precipitação de substâncias iônicas formação e características dos precipitados gravimetria. Piracicaba, ESALQ / Depto. de Química, 1990. 51p.
- GOEDERT, W. & SOUSA, D.M.G. de. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: ESPINOZA, W. & OLIVEIRA, A.J. de. ed. Anais do Simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira. Brasília, EMBRAPA-DEP, 1984. P.255-89.
- GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 11 ed. São Paulo, Nobel, 1985. 466p.
- GOMES, J.C. & BRAGA, J.M. Relação entre a capacidade tampão de fósforo de três latossolos de Minas Gerais e a absorção diferencial de fósforo em três cultivares de feijão

(*Phaseolus vulgaris*, L.). *Revista Ceres*, Viçosa, 27: 134-44, 1980.

GONÇALVES, J.L.M.; FIRME, D.J.; NOVAIS, R.F.; RIBEIRO, A.C.
Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado.
Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 9(1): 107-11, 1985.

GONZÁLEZ, T.R.; AVILAN, R.L.; LEON, L.C.; CHIRINOS, A.;
ROJAS, D.E.I. Methods of analysis of phosphorus in soils
of portuguesa state studied in the greenhouse. *Agronomia
Tropical*, Maracay, 26(5): 395-408, 1976.

GRANDE, M.A.; CURI, N.; QUAGGIO, J.A. Disponibilidade de
fósforo pelos extratores de Mehlich e resina, em solos
cultivados com arroz irrigado. *Revista Brasileira de
Ciência do Solo*, Campinas, 10(1): 45-50, 1986.

GRIGG, J.L. Prediction of plant response to fertilisers by
means of soil tests. II. Correlations between soil phos-
phate tests and phosphate responses of ryegrass grown in
pot experiments on recent, gley recent and gley soils.
New Zealand Journal of Agricultural Science, Wagerunger,
11: 345-58, 1968.

GUNARY, D. & SUTTON, G.D. Soil factors affecting plant
uptake of phosphate. *Journal of Soil Science*, Oxford,
18(1): 167-73, 1967.

GUPTA, M.B.S. & CORNFIELD, A.H. Phosphorus in calcareous
soils. III. "Available" phosphate in calcareous soils a
measured by five chemical methods and by rye-grass in a
pot test. *Journal Science Agriculture*, London, 14: 563-7,
1963.

- HISLOP, J. & COOKE, I.J. Anion exchange resin as a means of assessing soil phosphate status: a laboratory technique. *Soil Science*, Baltimore, 105(1): 8-11, 1966.
- HOLFORD, I.C.R. Effects of phosphate buffer capacity of soil on the phosphate requirements of plants. *Plant Soil*, Hague, 45: 433-44, 1976.
- HOLFORD, I.C.R. Greenhouse evaluation for four phosphorus soil test in relation to phosphate buffering and lábil phosphate in soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 44: 555-9, 1980.
- HOLFORD, I.C.R. & CULLIS, B.R.A. An evaluation for eight soil phosfate extractants on acid wheat-growing soils. *Australian Journal of Soil Research*, East Melbourne, 23(4): 647-53, 1985.
- HOLFORD, I.C.R. & MATTINGLY, G.E.G. Phosphate adsorption and plant availability of phosphate. *Plant Soil*, Hague, 44: 377-89, 1976.
- HOLFORD, I.C.R. & MATTINGLY, G.E.G. Effects of phosphate buffering on the extraction of labile phosphate by soil test. *Australian Journal of Soil Research*, East Melbourne, 17(2): 511-4, 1979.
- HSU, P.H. Adsorption of phosphate by aluminium and iron in soils. *Soil Science Society Proceedings*, Madison, 28(4): 474-8, 1964.
- JORGE, J.A. & VALADARES, J. Formas de Fósforo em solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, 28(2): 23-30, 1969.

- KADERA, O. & BOYLE, J.R. Evaluation of phosphorus in forest soils: comparison of phosphorus uptake, extraction method and soil properties. *Plant Soil, Hague*, 49(2): 285-97, 1978.
- KAFKAFI, V.; POSNER, A.M.; QUIRK, J.P. Desorption of phosphate from raolinite. *Soil Science Society of America Proceedings, Madison*, 31(3): 348-53, may/june. 1967.
- KAMPRATH, E.J. & WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLES, E.C.; KAMPRATH, E.J. *The role of phosphorus in agriculture*, Madison, American Society of Agronomy, 1980. p.433-69.
- KHAN, A.A. & ZENDE, G.K. Correlation of soil-test vales with the response of maize and sorghum to available zine, and phosphorus. *Indian Journal of Agricultural Science, New Delhi*, 46(6): 259-65, 1976.
- KHASAWNEH, F.E. & COPELAND, J.P. Cotton root growth and uptake to quantily, intensity, and buffering capacity. *Soil Science Society of America Proceedings, Madison*, 37(2): 250-4, 1973.
- KOCHAN, R.; ANGHINOMI, I.; MIELNICZUK, J.A. Adubação fosfatada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S.; GOEDERT., W.J. *Adubação fosfatada no Brasil*, Brasília, EMBRAPA/DID, 1982. p.29-60.
- KUO, S.; JELLUM, E.J.; PAN, W.L. Influence of phosphate sorption parameters of soils on the desorption of phosphate by various extractants. *Soil Science of America Journal, Madison*, 52: 974-9, 1988.

- LARSEN, S. The use of P^{32} in studies on the uptake of phosphorus by plants. *Plant Soil*, Hague, 4(1): 1-10, 1952.
- LARSEN, S. Soil phosphorus. *Advances in Agronomy*, San Diego, 19: 151-210, 1967.
- LARSEN, S. Phosphorus - a limiting factor in future food production. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, Wageningen, 22: 270-4, 1974.
- LATHWELL, D.J.; SANCHES, N.; LISK, D.J.; PEECH, M. Available phosphorus as determined by several chemical methods. *Agronomy Journal*, Madison, 50: 366-9, 1958.
- LE-MARE, P.H. Exchangeable phosphorus, estimates of it from amorphorus iron oxides, and soil solution phosphorum, in relation to phosphorus taken up by maize. *Journal of Soil Science*, Oxford, 32(2): 285-99, 1981.
- LINDSAY, M.L. & STEPHENSON, H.F. Nature of reactions of mono-calcium phosphate in soil. I. The solution that reacts with the soil. II. Dissolution and precipitation reaction involving iron, aluminium, manganese, and calcium. *Soil Science of America Proceedgins*, Madison, 23(1): 12-22, 1959.
- MCCLEAN, E.O.; ARSCOTT, T.G.; HANNAN, M.A. An evaluation of soil solution an chemical extraction methods for assessim phosphorus availability to wheat plants grown in Ohio and Bangladesh soils. *Communications is Soil Science and Plant Analysis*, New York, 14(1): 1-13, 1983.
- MAGALHAES, A.F. Uso de resina de troca aniônica na avaliação do fósforo "disponível" para as plantas. II. Estudo comparativo com a solução de Mehlich (Carolina do Norte). *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, 10(1): 171-6,

1974.

MAGALHÃES, A.F. & GALIECO, M.S. Uso de resina de troca aniônica na avaliação do fósforo "disponível" para as plantas. I. Adaptabilidade do método para alguns solos do Rio Grande do Sul. *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, 10(1): 117-25, 1974.

MAGALHÃES, J.C.A.J. de.; MELLO, F. de. A.F. de; THOMAZI, M.D. Avaliação agronômica de fosfatos naturais com ênfase para solos sob vegetação de cerrado. III. Disponibilidade de fósforo no solo avaliado por extratores químicos e relação com a produção e a absorção de fósforo pelas culturas. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, 62(3): 307-22, 1987.

MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O.J.; ANDRADE, R.G.; ALVIZURI, C.; VENCOVSKY, R.; FREITAS, L.M.M. Estudos sobre a fertilidade dos solos do cerrado. I. Efeito da calagem na disponibilidade do fósforo (nota prévia). *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, 22(1): 131-8, 1965.

MALAVOLTA, E.; REICHARDT, K.; BITTENCOURT, V.C.; STEWART, J.B.W.; SARRUGE, J.R. *Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo*. Piracicaba, Agronômica Ceres, 1976. 528p.

MALLÖWS, C.L. Some comments on cp. *Technometrics*, Alexandria, 15: 661-75, 1975.

MANHÃES, M.S. & GLÓRIA, N.A. Fósforo disponível para cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) em solos dos Estados do Rio de Janeiro. *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, 96(1): 21-30, 1980.

- MANHÃES, M.S. ; AZEREDO, D.F. ; ROBAINA, A.A. ; VIEIRA, J.R.
Calibração de fósforo disponível para cana-de-açúcar em solos dos Estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais (Zona de Mata). *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, 97(2): 50-6, 1981.
- MARTENS, D.C. ; LUTZ, J.A. ; JONES, G.D. Forms and availability of phosphorus in selected Virginia soils as related to available phosphorus tests. *Agronomy Journal*, Madison, 61: 616-21, 1969.
- MASSEE, T.W. ; OLSEN, R.A. ; SKOGLEY, E.O. Characterizing soil fertility by ion diffusive flux measurement. *Plant Soil*, Hague, 47(3): 663-79, 1979.
- MATO, M.A. ; GARCIA, A. ; NUVIOLA, A. ; ALFONSO, N. Comparison of ten analytical methods for estimating the available phosphorus in 57 soils. *Ciencia y Tecnica en la Agricultura, Suelos y Agroquimica*, Venezuela, 9(3): 7-14, 1986.
- MATTINGLY, G.E.G. The influence of intensity and capacity factors on the availability of soil phosphate. *Minist. Agriculture Fish. of Food.*, Finlandia, 9p. 1965. (Technical Bulletin, 13).
- MATTINGLY, G.E.G. & PINKERTON, A. Some relationship between isotopically exchangeable phosphate, soil analysis and grown in the greenhouse. *Journal of Science of Food and Agriculture*, London, 12: 772-7, 1961.
- MELLO, F.A.F. de; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. ; ARZOLLA, S. ; SILVEIRA, R.I. ; COBRA NETTO, A. ; KIEHL, J.C. *Fertilidade do solo*, São Paulo, Nobel, 1983. 400p.
- MENDOZA, R.E. & BARROW, N.J. Ability of three soils extrac-
tants to reflect the factors that determine the availability of soil phosphate. *Soil Science*, Baltimore, 144(5):

319-29, 1987.

MENON, R.G.; CHIEN, S.H.; HAMMOND, L.L. Comparasion of Bray I and Pi tests for evaluating plant - available partially acidulated phosphate rocks. *Plant Soil*, Hague, 114(2): 211-6, 1989a.

MENON, R.G.; CHIEN, S.H.; HAMMOND, L.L. The Pi Soil phosphorus test; a new approach to testing for soil phosphorus. International Fertilizer Development Center, 1989b. 10p.

MENON, R.G.; CHIEN, S.H.; HAMMOND L.L.; SISSING H.H. A determination of plant - available phosphorus by the iron hidroxiide - impregnated filter paper (Pi) soil test. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 52(1): 110-5, 1988.

MESQUITA FILHO, M.V. de; MIRANDA, L.N. de; KLUTHCOUSKI, J. Avaliação de cultivares de feijão para sua tolerância à toxicidade de alumínio com relação à disponibilidade de fósforo em solos de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo.*, Campinas, 6(1): 43-6, 1982.

METWALLY, A.I.; HANDY, H.; ELBAZ, S. Evaluation of various parameters for available phosphorus in alluvial and calcareous soils of Egipt. *Zeitschrift für Pflanzenern, Bodenk*, 6: 595-604, 1975.

MIRIUKI, S.K. & BARBER, R.G. A study on the merits of separating tropical soils into groups and using different chemical extractants for different groups in the routine measurement of available soil phosphorus soil analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 14(6): 521-39, 1983.

- MORGAN, M.F. The universal soil testing system. *Communications in Agricultural Experimental Station Bulletin*, 392, 1937.
- MOSER, U.S. Correlations of soil and plant measurements of phosphorus availability. *Iowa State Coll. Journal of Science*, Iowa, 31: 482-3, 1957.
- MOSER, U.S.; SUTHERLAND, W.D.; BLACK, C.A. Evaluation of laboratory indexes of absorption of soil phosphorus by plants: I. *Plant Soil*, Hague, 10(4): 356-71, 1959.
- MUNIZ, A.S. 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, 1983. 70p. (M.S - Universidade Federal de Viçosa).
- NATIONAL SOIL RESEARCH COMMITTEE. Soils tests compared with field, greenhouse, and laboratory results. North Carolina Agricultural Experimental Station. 1956. 36p. (Technical Bulletin, 121).
- NELSON, W.L.; MELICH, A.; WINTERS, E. The development, evaluation and use of soil tests for phosphorus availability. In: PIERRE, W.H. & NORMAN, A.G. *Soil fertilizer phosphorus*. New York, Academic Press, 1953. p.153-88. (Agronomy, 14).
- NOVAIS, R.F. & KAMPRATH, E.J. Parâmetros da isoterma de absorção de fósforo como critério de recomendação de adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 3(1): 37-41, jan/abr., 1979a.
- NOVAIS, R.F. & KAMPRATH, E.J. Fósforo recuperado em três extratores químicos como função do fósforo aplicado no

solo e do "fator capacidade". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 3(1): 41-6, 1979b.

OGOT, P.O. Evaluation of phosphorus soil test methods by greenhouse studies and laboratory tests. *East African Agricultural and Forestry Journal*, Nairobi, 35: 336-9, 1970.

OKO, B.F.D. & AGBOOLA, A.H. Comparasion of different phosphorus extractants in soil of the Western State of Nigeria. *Agronomy Journal*, Madison, 66: 639-42, 1974.

OLSEN, S.R. Inorganic phosphorus in alkaline and calcareous soils. In: PIERRE, W.H. & NONAM, A.G. eds. *Soil and fertilizer phosphorus*. 1953, p.89-122. (Agronomy, 4).

OLSEN, S.R. & WATANABE, F. A method to determine a phosphorus absorption maximum of soils as measured by the langmuir isotherm. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 21(1): 144-9, 1957.

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

ORLANDO F^º, J. Absorção dos macronutrientes pela cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) variedade CB41-76, em três grandes grupos de solos no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1978. 154p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

OTENG, J.W. & ACQUAYE, D.K. Studies on the availability of phosphorus in representative soils of Ghana. I. Availability test by conventional methods. *Ghana Journal of Agricultural Science*, Ghana, 4: 171-83, 1971.

- ÖZBEK, N. Studies on the chemical methods which will be used for determining the phosphorus status of different regions in Turkey. Yearbook of the Facultad of Agricultural, Univ. Ankara, 9: 124-62, 1969.
- ÖZBEK, N. & MUHAMMAD, S. A modified anion exchange resin equilibration method for the determination of available phosphorus in soils. Yearbook of Facultad of Agricultural, Univ. Ankara, 7: 95-106, 1967.
- PAAUW, F. Van der. An effective water extraction method for the determination of plant available soil phosphorus. Plant and Soil, Hague, 34: 467-81, 1971.
- PALMA, G. & FASSBBENDER, H.W. Estudio del fósforo en suelos de America Central. Uso de resinas de intercâmbio para evaluar la disponibilidad de P. Turrialba, San Jose, 20(1): 29-87, 1970.
- PAYNE, H. & HANNA, W.J. Correlations among soil phosphorus fractions, extractable phosphorus and plant content of phosphorus. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Washington, 13: 322-6, 1965.
- RAIJ, B. van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 2(1): 1-9, 1978.
- RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fósforo, 1981. 142p.
- RAIJ, B. van. Fósforo: dinâmica e disponibilidade no solo. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO, 1., Ilha Solteira, 1987. Campinas, Fundação Cargill, 1987. p.161-79.

RAIJ, B. van & DIEST, B. van. Phosphate supplying power of rock phosphate in an Oxisol. *Plant and Soil*, Hague, 55(1): 97-104, 1980.

RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solos para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 31p. (IAC. Boletim Técnico, 81).

RAIJ, B. Van & QUAGGIO, J.A. Extractable phosphorus availability indexes as affected by liming. *Communications Soil Science and Plant Analysis*, New York, 21(13/16): 1267-76, 1990.

RAIJ, B. van & ZULLO, M.A.T. Métodos de análise de solo. Campinas, Instituto Agronômico, 1977, 16p. (IAC. Circular, 63).

RAIJ., B. van; FEITOSA, C.T.; CARMELLO. Q.A.C. Adubação fosfatada no Estado de São Paulo. In: OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA/DID, 1982. p.103-6.

RAIJ, B. van; FEITOSA, C.T.; SILVA, N.M. da. Comparação de quatro extratores de fósforo de solos. *Bragantia*, Campinas, 43(1): 17-29, 1984.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; SILVA, N.M. da. Extraction of phosphorus, potassium, calcium, and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. *Communications In Soil Science and Plant Analysis*, New York, 17(5): 547-66, 1986.

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

- RALTJE, W. On the mutual conversion of calcion-bound phosphoric acid in soil. *Plant and Soil*, Hague, 13(1): 159-65, 1960.
- ROCHE, P.; GRIÈRE, L.; BABRE, D.; CALBA, H.; FALLAVIER, P. Phosphorus in tropical soils; assessing deficiency levels and phosphorus requirements. Paris, World Phosphat e Institute, Paris, 1980. 48p. (Scientific publication, 2).
- RODRIGUEZ, S.J.; SILVA, H.E.; BERNIER, R.V.; SIERRA, C.B. Evaluation of chemical methods to asses soil P availability on soils of the X region, Chile. *Ciencia e Investigacion Agrária*, Chile, 7(3): 229-36, 1980.
- ROJAS, C.W. Selección de métodos para la evaluacion de fósforo disponible en suelos arroceros. *Agricultura Técnica*, Santiago, 36(1): 5-13, 1976.
- RUSSEL, R.S.; RUSSEL, E.W.; MARRAIS, P.P. Factors affecting the ability of plants to absorb phosphate from soils. I. The relationship between sabibe phosphate and absorption. *Journal of Soil Science*, Oxford, 8: 248-67, 1957.
- RYDEN, J.C.; McLAUGHLIN, J.R.; SYERS, J.K. Mechanisms of phosphate sorption by soils and hidrous ferric oxides gel. *Journal of Soil Science*, Oxford, 28(4): 72-92, 1977a.
- RYDEN, J.C.; McLAUGHLIN, J.R.; SYERS, J.K. Time depend sorption of phosphate by soils and hidrous ferric oxides. *Journal of Soil Science*, Oxford, 28(4): 585-95, 1977b.
- SÁ, J.P.M.J.; GOMES, I.F., VASCONCELOS, A.L. Retenção de fósforos em solos da Zona da Mata de Pernambuco. *Pesqui-sa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 3(1): 183-8, 1968.

- SANABRIA, J.P.; CASTRO, J.L.; ZAMUZ, E.M. de. Calibracion del métodos de analisis de suelos para determinar la fertilizacion fosfatada del trigo. *Investigaciones Agro-nomicas*, La Estanguela, 2(1): 74-9, 1981.
- SARKAR, M.C. & HETRA, M. Evaluation of some intensity and capacity factors for measuring phosphorus availability in sierozem soils of Hissar. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, New Delhi, 22: 249-57, 1974.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP. 1974. 57p.
- SCHOFIELD, R.K. Can a precise meaning be given to "available" soil phosphorus. *Soils and Fertilizers*, Wallingford, 18: 373-5, 1955.
- SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; CORDEIRO, D.S.; PALHANO, J.B.; DITTRICH, R.C. Comparação de cinco extratores de fósforo, considerando-se o tempo de incorporação de três adubos fosfatados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 3(2): 111-5, 1979.
- SIBBESEN, E. Simple ion-exchange resin procedure for extracting plant-available element from soil. *Plant and Soil*, Hague, 46(3): 665-9, 1977.
- SIBBESEN, E. An investigation of the anion-exchange resin method for soil phosphate extraction. *Plant and Soil*, Hague, 50(1): 305-21, 1978.
- SILVA, J.T.A. da. Relações entre características do solo que refletem a capacidade tampão de fósforo e o nível crítico para sorgo, em dez latossolos de Minas Gerais, em casa de vegetação. Viçosa, 1990. 87p. (M.S - Universi-

dade Federal de Viçosa).

SILVA, L.C.F. & CASAGRANDE, J.C. *Nutrição Mineral da Cana-de-Açúcar (Macronutrientes)*. In: ORLANDO FILHO, J., coord. Piracicaba, Planalsucar, 1983. p.77-99 (Coleção PLANALSUCAR, 2).

SMITH, F.W.; ELLIS, B.G.; GRAVA, J. Use of acid-fluoride solutions for the extraction of available phosphorus in calcareous soils and in soils to which rock phosphate has been added. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 21: 400-4, 1957.

SRIVASTAVA, S.C. & JAFRI, S.M.H. Evaluation of extracting methods for available phosphorus in some soils of sugar cane growing areas of North India. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, New Delhi, 22: 134-8, 1974.

STOUT, P.R. Alterations in the crystal structure of clay minerals as a result of phosphate fixation. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 4: 177-82, 1939.

STRAUSS, E. Determinação do fósforo assimilável em solos de Pernambuco. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., Recife, 1951. *Anais*. Rio de Janeiro, SBCS, 1954. v.1., p.515-8.

SUSUKI, A.; LAWTON, K.; DOLL, E.C. Phosphorus uptake and soil tests as related to forms of phosphorus in some Michigan soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 27: 401-3, 1963.

TAYLOR, A.W. & GURNEY, E.L. The effect of lime on the phosphate potential and resin-extractable phosphate in five acid soils. Madison, Soil Science Society of America, 1973.

- THOMAS, G.W. & PEASLEE, D.E. Testigng soils for phosphorus.
In: WALSH, L.M. & BEATON. J.D. ed. Soil testing and
plant analysis. Madison, Soil Science Society of Ameri-
ca, 1973. p.115-29
- THOMPSON, E.J.; OLIVEIRA, A.L.F.V.; MOSER, V.S.; BLACK, C.A.
Evaluation of laboratory indexes of absorption of soil
phosphorus by plants. II. Plant and Soil, Hague, 13(1):
28-38, 1960.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro,
Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico,
7).
- WILD, A. Soluble phosphate in soil and uptake by plants.
Nature, New York, 203: 326-7, 1964.
- WILLIAMS, E.G. & KNIGHT, A.H. Evaluations of soil phosphate
status by pot experiments, conventional extraction
methods, and labile phosphate values estimated with the
aid of phosphorus-32. Journal of the Science of Food and
Agriculture, London, 14: 555-63, 1963.
- ZUNINO, H.; AGUILERA, M.; PEIRANO, P. A modified resin
exchange method for measurement of available phosphate in
soils derived from volcanic ash. Soil Science, Balti-
more, 114: 404-5, 1972.
- ZUNINO, H.; PEIRANO, P.; AGUILELA, M.; CALOZZI, M. P uptake
by wheat and resin-extractable phosphate after incubation
in soil derived from volcanic ash. Agronomy Journal,
Madison, 65(5): 74-8, 1973.

APENDICES

APENDICE 1 - Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte aérea ao elemento extraído do solo pela resina com Fe(OH)_3 precipitado, com dados transformados em $\sqrt{x}$.

APENDICE 2 - Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte aérea ao elemento extraído do solo pelo papel de filtro impregnado com Fe(OH)_3 (com agitação).

APÊNDICE 3 - Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte aérea ao elemento extraído do solo pela resina (sem agitação).

APÊNDICE 4 - Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte subterrânea ao elemento extraído do solo pela resina com Fe(OH)_3 precipitado, com dados transformados em $\sqrt{x}$.

APENDICE 5 - Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte subterrânea ao elemento extraído do solo pela resina (sem agitação).

APENDICE 6 - Representação gráfica da resposta da planta em conteúdo de fósforo absorvido na parte subterrânea ao elemento extraído do solo pelo papel de filtro impregnado com Fe(OH)_3 (com agitação).

APENDICE 7 - Representação gráfica da resposta do vegetal em conteúdo de fósforo absorvido na planta inteira ao elemento extraído do solo pela resina com Fe(OH)_3 precipitado, com dados transformados em $\sqrt{x}$.

APENDICE 8 - Representação gráfica da resposta do vegetal em conteúdo de fósforo absorvido na planta inteira ao elemento extraído do solo pela resina (sem agitação).

APÊNDICE 9 - Representação gráfica da resposta do vegetal em conteúdo de fósforo absorvido na planta inteira ao elemento extraído do solo pelo papel de filtro com Fe(OH)_3 precipitado.

APENDICE 10

Seleção de variáveis preditoras do modelo de ganho de MS, da planta inteira (y), em teste de todas as possíveis regressões, a partir do P extraído pela solução de H_2SO_4 0,05N e outros parâmetros complementares medidos no solo.

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	Q. M. REGRES.	Q. M. RESÍD.	VALOR F	PROB. > F	COEF. DETER.	Cp DE MALL.	P	Cp-P
1 5 7 8 9 10 11 12 13	744.15	113.11	6.58	0.01	0.85	7.83	10	-2.17
1 5 6 7 8 9 10 11 12 13	679.98	114.30	5.95	0.01	0.87	9.12	11	-1.88
1 2 5 7 8 9 10 11 12 13	679.24	151.12	5.90	0.01	0.87	9.17	11	-1.83
1 2 3 4 6 8 10 11 12	738.04	118.61	6.22	0.01	0.85	8.21	10	-1.79
1 3 4 6 7 8 10 11 12	734.35	121.93	6.02	0.01	0.85	8.44	10	-1.56
1 2 3 4 6 8 10	902.89	125.68	7.18	0.01	0.81	6.44	8	-1.56
1 2 3 4 6 8 10 11	807.76	124.22	6.50	0.01	0.82	7.46	9	-1.54
1 2 5 6 7 8 9 10 11 12 13	625.48	118.52	5.27	0.01	0.88	10.56	12	-1.43
1 3 4 6 8 10 11 12	805.47	125.89	6.40	0.01	0.82	7.59	9	-1.41
1 4 5 7 8 9 10 11 12 13	673.16	121.87	5.52	0.01	0.86	9.59	11	-1.40
1 2 3 4 6 8 10 11 12 13	672.14	123.00	5.46	0.01	0.86	9.66	11	-1.33
1 2 3 4 6 8 10 12	804.02	126.93	6.33	0.01	0.82	7.67	9	-1.33
1 2 3 4 5 7 8 10 11 12	672.02	123.14	5.46	0.01	0.86	9.67	11	-1.33
S. Q. TOTAL	7828.48				G. L. TOTAL	19		

Modelo genérico: $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + \dots + n \cdot x_{13}$,
onde:

$x_1 = H_2SO_4$ 0,05N; $x_2 = MO(\%)$; $x_3 = pH\ H_2O$; $x_4 = pH\ CaCl_2$; $x_5 = K$; $x_6 = Ca$;
 $x_7 = Mg$; $x_8 = H+Al$; $x_9 = S$; $x_{10} = T$; $x_{11} = V(\%)$; $x_{12} = dTFA$; $x_{13} = Argila$
(%).

APÊNDICE 11

Seleção de variáveis preditoras do modelo de ganho de Ms, da planta inteira (y), em teste de todas as possíveis regressões, a partir do P extraído pela solução de H_2SO_4 0,5N e outros parâmetros complementares medidos no solo.

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	Q. M. REGRES.	Q. M. RESÍD.	VALOR F	PROB. > F	COEF. DETER.	Cp DE MALL.	P	Cp-P
1 3 4 5 6 8 10 11 12 13	683.35	110.54	6.18	0.01	0.87	9.17	11	-1.83
1 3 4 5 6 8 9 10 11 12 13	633.28	107.79	5.87	0.01	0.89	10.22	12	-1.78
1 3 4 5 6 7 8 10 11 12 13	632.41	109.00	5.80	0.01	0.89	10.29	12	-1.71
1 3 4 5 7 8 9 10 11 12	626.75	116.77	5.37	0.01	0.88	10.73	12	-1.26
1 2 3 4 5 6 8 10 11 12 13	625.22	118.88	5.26	0.01	0.88	10.86	12	-1.14
1 2 3 4 5 6 7 8 10 11 12 13	582.65	119.58	4.87	0.02	0.89	12.03	13	-0.97
1 2 3 4 5 6 8 9 10 11 12 13	582.62	119.58	4.87	0.02	0.89	12.03	13	-0.96
1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13	580.65	122.96	4.72	0.02	0.89	12.20	13	-0.79
1 3 4 6 7 8 9 10 11 12 13	615.57	132.15	4.66	0.02	0.86	11.62	12	-0.38
1 2 3 4 5 7 8 9 10 11 12 13	575.74	131.70	4.37	0.03	0.88	12.65	13	-0.35
1 4 5 7 8 9 10 11 12 13	660.30	136.17	4.85	0.01	0.84	10.83	11	-0.16
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13	538.17	138.70	3.88	0.05	0.89	14.00	14	0.00
1 2 3 4 6 7 8 9 10 11 12 13	570.03	141.17	4.04	0.04	0.87	13.12	13	0.12
S. Q. TOTAL	7828.48					G. L. TOTAL	19	

Modelo genérico: $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + \dots + n \cdot x_{13}$,
onde:

$x_1 = H_2SO_4$ 0,05N; $x_2 = MO(\%)$; $x_3 = pH\ H_2O$; $x_4 = pH\ CaCl_2$; $x_5 = K$; $x_6 = Ca$;
 $x_7 = Mg$; $x_8 = H+Al$; $x_9 = S$; $x_{10} = T$; $x_{11} = V(\%)$; $x_{12} = dTFA$; $x_{13} = Argila$
(%).

APENDICE 12

Seleção de variáveis preditoras do modelo de ganho de Ms, da planta inteira (y), em teste de todas as possíveis regressões, a partir do P extraído pela solução Mehlich e outros parâmetros complementares medidos no solo.

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	Q. M. REGRES.	Q. M. RESÍD.	VALOR F	PROB. > F	COEF. DETER.	Cp DE MALL.	P	Cp-P
1 5 7 8 9 10 11 12 13	760.84	98.09	7.76	0.01	0.87	7.47	10	-2.53
1 3 4 6 7 8 10 11	836.77	103.12	8.11	0.01	0.85	6.64	9	-2.36
1 3 4 6 7 8 10 11 12 13	693.90	98.83	7.02	0.01	0.89	8.77	11	-2.23
1 5 6 7 8 9 10 11 12 13	690.83	102.24	6.76	0.01	0.88	9.01	11	-1.99
1 3 4 6 7 8 10 11 12	751.25	106.72	7.04	0.01	0.86	8.13	10	-1.87
1 3 4 5 7 8 9 10 11 12 13	638.49	100.63	6.34	0.01	0.90	10.13	12	-1.87
1 3 4 5 6 8 9 10 11 12 13	637.81	101.57	6.28	0.01	0.90	10.19	12	-1.81
1 3 4 6 8 10	1059.27	113.30	9.35	0.01	0.81	5.21	7	-1.78
1 3 4 6 8 9 10 11	825.83	111.08	7.43	0.01	0.84	7.30	9	-1.70
1 3 4 6 8 10 11	924.98	112.80	8.20	0.01	0.83	6.31	8	-1.69
1 4 5 7 8 9 10 11 12 13	686.47	107.08	6.41	0.01	0.88	9.34	11	-1.66
1 3 5 7 8 9 10 11 12 13	686.06	107.54	6.38	0.01	0.88	9.37	11	-1.63
1 2 5 7 8 9 10 11 12 13	685.23	108.47	6.32	0.01	0.87	9.43	11	-1.57
S. Q. TOTAL	7828.48					G. L. TOTAL	19	

Modelo genérico: $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + \dots + n \cdot x_{13}$,
onde:

x_1 = Mehlich; x_2 = MO(%); x_3 = pH H₂O; x_4 = pH CaCl₂; x_5 = K; x_6 = Ca;
 x_7 = Mg; x_8 = H+Al; x_9 = S; x_{10} = T; x_{11} = V(%); x_{12} = dTFSa; x_{13} = Argila
(%).

APENDICE 13

Seleção de variáveis preditoras do modelo de ganho de MS, da planta inteira (y), em teste de todas as possíveis regressões, a partir do P extraído pela resina (IAC) e outros parâmetros complementares medidos no solo.

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	Q.M. REGRES.	Q.M. RESÍD.	VALOR F	PROB. > F	COEF. DETER.	Cp DE MALL.	P	Cp-P
1 2 3 4 5 7 10	863.28	148.79	5.80	0.01	0.77	5.21	8	-2.79
1 2 3 4 6 8 9	862.48	149.25	5.78	0.01	0.77	5.23	8	-2.76
1 2 3 4 6 9 10	856.37	152.86	5.60	0.01	0.76	5.46	8	-2.54
1 2 3 4 6 8 9 12	772.37	149.96	5.15	0.01	0.79	6.50	9	-2.49
1 2 3 4 7 10	961.73	158.31	6.07	0.01	0.74	4.61	7	-2.38
1 2 3 4	1344.94	163.24	8.24	0.01	0.69	2.63	5	-2.37
1 2 3 4 5 6 10 12 13	704.89	148.45	4.75	0.01	0.81	7.65	10	-2.34
1 2 3 4 5 6 8 9	768.02	153.12	5.01	0.01	0.78	6.68	9	-2.31
1 2 3 4 6 7 8 9	768.00	153.13	5.01	0.01	0.78	6.68	9	-2.31
1 2 3 4 5 7 10 12	766.14	154.49	4.96	0.01	0.78	6.76	9	-2.24
1 2 5 6 7 9 12 13	763.71	156.25	4.89	0.01	0.78	6.86	9	-2.14
1 2 3 4 6 8 10	844.21	159.91	5.28	0.01	0.75	5.89	8	-2.10
1 2 3 4 5 6 7 8	762.80	156.91	4.86	0.01	0.78	6.90	9	-2.10
S. Q. TOTAL	7828.48					G. L. TOTAL	19	

Modelo genérico: $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + \dots + n \cdot x_{13}$,
onde:

x_1 = Resina; x_2 = MO(%); x_3 = pH H₂O; x_4 = pH CaCl₂; x_5 = K; x_6 = Ca;
 x_7 = Mg; x_8 = H+Al; x_9 = S; x_{10} = T; x_{11} = V(%); x_{12} = dTFSA; x_{13} = Ar-
gila (%).

APENDICE 14

Seleção de variáveis preditoras do modelo de ganho de Ms, da planta inteira (y), em teste de todas as possíveis regressões, a partir do P extraído pela resina-Fe(OH)₃ e outros parâmetros complementares medidos no solo.

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	Q. M. REGRES.	Q. M. RESÍD.	VALOR F	PROB. > F	COEF. DETER.	Cp DE MALL.	P	Cp-P
1 2 3 4 6 7 8 10 11 12 13	620.20	125.79	4.93	0.02	0.87	10.98	12	-1.02
1 2 3 4 5 7 8 9 10 11 12 13	579.91	124.23	4.67	0.02	0.89	12.03	13	-0.97
1 2 3 4 5 6 8 10 11 12 13	618.42	128.23	4.82	0.02	0.87	11.11	12	-0.89
1 2 3 4 5 6 8 9 10 11 12 13	578.43	126.76	4.56	0.03	0.87	12.15	13	-0.85
1 2 3 4 5 6 8 10 12 13	660.49	135.95	4.86	0.01	0.84	10.48	11	-0.52
1 2 3 4 5 6 7 8 10 11 12 13	573.44	135.30	4.24	0.03	0.88	12.57	13	-0.43
1 2 5 6 7 8 9 10 11 12 13	612.44	136.45	4.49	0.02	0.86	11.57	12	-0.43
1 2 5 7 8 9 10 11 12 13	658.43	138.24	4.76	0.01	0.84	10.62	11	-0.37
1 2 3 4 6 7 8 9 10 11 12 13	568.79	143.28	3.97	0.04	0.87	12.95	13	-0.05
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13	535.62	144.23	3.71	0.06	0.89	14.00	14	0.00
1 2 3 4 6 7 8 10 11 12	651.77	145.64	4.47	0.02	0.83	11.09	11	0.09
1 2 4 5 7 8 9 10 11 12 13	604.95	146.75	4.12	0.03	0.85	12.14	12	0.14
1 2 3 4 6 8 10 11 12 13	648.87	148.87	4.36	0.02	0.83	11.29	11	0.29
S. Q. TOTAL	7828.48					G. L. TOTAL	19	

Modelo genérico: $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + \dots + n \cdot x_{13}$,
onde:

x_1 = Resina-Fe(OH)₃; x_2 = MO(%); x_3 = pH H₂O; x_4 = pH CaCl₂; x_5 = K; x_6 = Ca; x_7 = Mg; x_8 = H+Al; x_9 = S; x_{10} = T; x_{11} = V(%); x_{12} = dTFSa; x_{13} = Argila (%).

APÊNDICE 15

Seleção de variáveis preditoras do modelo de ganho de Ms, da planta inteira (y), em teste de todas as possíveis regressões, a partir do P extraído pela resina (sem agitação) e outros parâmetros complementares medidos no solo.

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	Q.M. REGRES.	Q.M. RESÍD.	VALOR F	PROB. > F	COEF. DETER.	Cp DE MALL.	P	Cp-p
1 2 7 8 9 10 11	729.47	126.33	5.77	0.01	0.84	7.22	10	-2.78
1 2 6 8 9 10 11 12 13	725.89	129.54	5.60	0.01	0.83	7.40	10	-2.59
1 2 5 7 8 9 10 11 12 13	667.29	128.40	5.20	0.01	0.85	8.60	11	-2.39
1 2 6 8 10 11 12	783.34	141.97	5.52	0.01	0.80	6.93	9	-2.07
1 2 4 6 8 9 10 11 12 13	658.14	138.56	4.75	0.01	0.84	9.13	11	-1.87
1 2 6 7 8 9 10 11 12 13	658.05	138.66	4.74	0.01	0.84	9.13	11	-1.87
1 2 4 7 8 9 10 11 12 13	657.24	139.57	4.71	0.01	0.84	9.18	11	-1.82
1 2 3 7 8 9 10 11 12 13	656.98	139.85	4.70	0.01	0.84	9.19	11	-1.80
1 2 7 8 9 10 11 12	776.01	147.31	5.27	0.01	0.79	7.26	9	-1.74
1 2 3 4 6 8 9 10 11 12 13	611.96	137.12	4.46	0.02	0.86	10.27	12	-1.73
1 2 5 6 7 8 9 10 11 12 13	611.64	137.55	4.45	0.02	0.86	10.29	12	-1.71
1 2 4 5 7 8 9 10 11 12 13	610.46	139.17	4.39	0.02	0.86	10.36	12	-1.63
1 2 3 6 8 9 10 11 12 13	653.34	143.90	4.54	0.02	0.83	9.40	11	-1.60
S. Q. TOTAL	7828.48					G. L. TOTAL	19	

Modelo genérico: $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + \dots + n \cdot x_{13}$,
onde:

x_1 = Resina (SA); x_2 = MO(%); x_3 = pH H₂O; x_4 = pH CaCl₂; x_5 = K; x_6 = Ca;
 x_7 = Mg; x_8 = H+Al; x_9 = S; x_{10} = T; x_{11} = V(%); x_{12} = dTFSA; x_{13} = Argila
(%).

APÊNDICE 16

Seleção de variáveis preditoras do modelo de ganho de Ms, da planta inteira (y), em teste de todas as possíveis regressões, a partir do P extraído pelo papel-Fe(OH)₃ (com agitação) e outros parâmetros complementares medidos no solo.

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	Q. M. REGRES.	Q. M. RESÍD.	VALOR F	PROB. > F	COEF. ETER.	Cp DE MALL.	P	Cp-P
1 3 4 6 7 8 10 11 12 13	687.02	106.48	6.45	0.01	0.88	8.99	11	-2.06
1 3 4 6 7 8 9 10 11 12 13	640.55	111.56	5.65	0.01	0.88	10.51	12	-1.49
1 2 3 4 6 7 8 10 11 12 13	630.17	112.08	5.62	0.01	0.88	10.54	12	-1.45
1 3 4 5 6 7 8 10 11 12	627.15	116.23	5.40	0.01	0.88	10.79	12	-1.21
1 2 3 4 6 7 8 9 10 11 12 13	583.48	118.10	4.94	0.02	0.89	12.03	13	-0.97
1 2 3 4 5 6 7 8 10 11 12 13	580.97	122.41	4.75	0.02	0.89	12.25	13	-0.74
1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13	579.10	125.61	4.61	0.03	0.89	12.42	13	-0.58
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13	538.95	137.01	3.93	0.05	0.89	14.00	14	0.00
1 3 4 6 7 8 9 10 12 13	648.96	148.76	4.36	0.02	0.83	11.77	11	0.77
1 3 4 5 6 8 9 10 11 12 13	600.64	152.67	3.93	0.03	0.84	12.91	12	0.91
1 2 3 4 5 6 8 9 10 11 12 13	558.42	161.06	3.47	0.05	0.85	14.23	13	1.23
1 2 3 4 6 7 8 9 10 12 13	593.23	162.87	3.64	0.04	0.83	13.51	12	1.51
1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	592.92	163.29	3.63	0.04	0.83	13.53	12	1.53
S. Q. TOTAL	7828.48				G. L. TOTAL		19	

Modelo genérico: $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + \dots + n \cdot x_{13}$,
onde:

x_1 = Papel-Fe(OH)₃ (c/agit) x_2 = MO(%); x_3 = pH H₂O; x_4 = pH CaCl₂; x_5 = K;
 x_6 = Ca; x_7 = Mg; x_8 = H+Al; x_9 = S; x_{10} = T; x_{11} = V(%); x_{12} = dTfSA;
 x_{13} = Argila (%).

APÊNDICE 17

Seleção de variáveis preditoras do modelo de ganho de Ms, da planta inteira (y), em teste de todas as possíveis regressões, a partir do P extraído pelo papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (sem agitação) e outros parâmetros complementares medidos no solo.

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	Q. M. REGRES.	Q. M. RESÍD.	VALOR F	PROB. > F	COEF. DETER.	Cp DE MALL.	P	Cp-p
1 5 7 8 9 10 11 12 13	750.31	107.57	6.97	0.01	0.86	6.12	10	-3.88
1 5 6 8 10 11 12	809.31	123.09	6.57	0.01	0.83	5.70	9	-3.29
1 5 6 8 9 10 11 12 13	733.00	123.15	5.95	0.01	0.84	7.01	10	-2.99
1 5 6 7 8 9 10 11 12 13	676.46	118.21	5.72	0.01	0.86	8.05	11	-2.95
1 2 5 7 8 9 10 11 12 13	675.49	119.28	5.66	0.01	0.86	8.11	11	-2.89
1 4 5 7 8 9 10 11 12 13	675.45	119.33	5.66	0.01	0.86	8.11	11	-2.89
1 3 5 7 8 9 10 11 12 13	675.41	119.37	5.66	0.01	0.86	8.11	11	-2.89
1 3 5 6 8 10 11 12 13	725.21	130.16	5.57	0.01	0.83	7.41	10	-2.59
1 2 5 6 8 10 11 12 13	720.71	134.21	5.37	0.01	0.83	7.64	10	-2.36
1 5 6 7 8 10 11 12 13	720.23	134.64	5.35	0.01	0.83	7.66	10	-2.34
1 4 5 6 8 10 11 12 13	719.46	135.33	5.32	0.01	0.83	7.70	10	-2.29
1 5 6 8 10 12 13	874.33	142.35	6.14	0.01	0.78	5.72	8	-2.28
1 5 7 8 9 10 12 13	785.78	140.21	5.60	0.01	0.80	6.77	9	-2.22
S. Q. TOTAL	7828.48					G. L. TOTAL	19	

Modelo genérico: $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + \dots + n \cdot x_{13}$,
onde:

x_1 = Papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (s/agit) x_2 = MO(%); x_3 = pH H_2O ; x_4 = pH CaCl_2 ; x_5 = K;
 x_6 = Ca; x_7 = Mg; x_8 = H+Al; x_9 = S; x_{10} = T; x_{11} = V(%); x_{12} = dTFSA;
 x_{13} = Argila (%).

APENDICE 18

Seleção de variáveis preditoras do modelo de adsorção de P, da planta inteira (y), em teste de todas as possíveis regressões, a partir do P extraído pela solução H_2SO_4 0,05N e outros parâmetros complementares medidos no solo.

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	Q.M. REGRES.	Q.M. RESÍD.	VALOR F	PROB. > F	COEF. DETER.	Cp DE MALL.	P	Cp-P
1 3	2200.72	102.85	21.40	0.01	0.71	-4.39	3	-7.39
1 3 4	1509.89	101.26	14.91	0.01	0.74	-3.09	4	-7.09
1 3 4 13	1174.59	96.76	12.14	0.01	0.76	-2.02	5	-7.02
1 3 4 6	1171.36	97.63	12.00	0.01	0.76	-1.95	5	-6.95
1 3 4 9	1167.88	98.55	11.85	0.01	0.76	-1.87	5	-6.87
1 3 4 10	1166.90	98.81	11.81	0.01	0.76	-1.85	5	-6.85
1 3 13	1491.79	104.65	14.25	0.01	0.73	-2.79	4	-6.79
1 3 6	1491.70	104.67	14.25	0.01	0.73	-2.79	4	-6.79
1 3 5	1489.21	105.14	14.16	0.01	0.73	-2.75	4	-6.75
1 3 9	1489.14	105.15	14.16	0.01	0.73	-2.75	4	-6.75
1 2 3	1488.32	105.30	14.13	0.01	0.73	-2.74	4	-6.74
1 3 10	1486.46	105.65	14.07	0.01	0.72	-2.71	4	-6.71
1 2 3 4	1158.16	101.15	11.45	0.01	0.75	-1.66	5	-6.66
S. Q. TOTAL	6149.84					G. L. TOTAL	19	

Modelo genérico: $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + \dots + n \cdot x_{13}$,
onde:

$x_1 = H_2SO_4$ 0,05N; $x_2 = MO(\%)$; $x_3 = pH\ H_2O$; $x_4 = pH\ CaCl_2$; $x_5 = K$; $x_6 = Ca$;
 $x_7 = Mg$; $x_8 = H+Al$; $x_9 = S$; $x_{10} = T$; $x_{11} = V(\%)$; $x_{12} = dTFSA$; $x_{13} = Argila$
(%).

APÊNDICE 19

Seleção de variáveis preditoras do modelo de adsorção de P, da planta inteira (y), em teste de todas as possíveis regressões, a partir do P extraído pela solução de H_2SO_4 0,5N e outros parâmetros complementares medidos no solo.

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	Q.M. REGRES.	Q.M. RESÍD.	VALOR F	PROB. > F	COEF. DETER.	Cp DE MALL.	P	Cp-P
1 3 4 6 7 8 9 10 11 12 13	528.82	41 59	12.71	0.01	0.94	10.03	12	-1.96
1 2 3 4 6 7 8 9 10 11 12 13	484.86	47.35	10.24	0.01	0.95	12.01	13	-0.99
1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13	484.85	47.37	10.23	0.01	0.95	12.02	13	-0.98
1 3 4 5 6 7 8 10 11 12 13	519.62	54.26	9.57	0.01	0.93	11.87	12	-0.12
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13	447.62	55.13	8.12	0.01	0.95	14.00	14	0.00
1 2 3 4 5 6 7 8 10 11 12 13	477.11	60.65	7.87	0.01	0.93	13.70	13	0.70
1 3 4 6 7 8 9 10 12 13	559.35	61.81	9.05	0.01	0.90	12.09	11	1.09
1 3 4 5 6 8 10 11 12 13	556.32	65.18	8.53	0.01	0.90	12.64	11	1.64
1 3 4 5 6 8 10 11 12 13	510.66	66.57	7.67	0.01	0.91	13.66	12	1.66
1 3 4 6 7 8 9 12 13	610.69	65.36	9.34	0.01	0.89	11.86	10	1.86
1 3 4 6 7 8 9 10 11	554.86	66.81	8.30	0.01	0.90	12.91	11	1.91
1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	509.21	68.57	7.43	0.01	0.91	13.95	12	1.95
1 3 4 5 6 7 8 9 10 12 13	508.94	68.93	7.38	0.01	0.91	14.00	12	2.00
S. Q. TOTAL	6149.84					G. L. TOTAL	19	

Modelo genérico: $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + \dots + n \cdot x_{13}$,
onde:

$x_1 = H_2SO_4$ 0,5N; $x_2 = MO(\%)$; $x_3 = pH\ H_2O$; $x_4 = pH\ CaCl_2$; $x_5 = K$; $x_6 = Ca$;
 $x_7 = Mg$; $x_8 = H+Al$; $x_9 = S$; $x_{10} = T$; $x_{11} = V(\%)$; $x_{12} = dTFSa$; $x_{13} = Argila$
(%).

APÊNDICE 20

Seleção de variáveis preditoras do modelo de absorção de P, da planta inteira (y), em teste de todas as possíveis regressões, a partir do P extraído pela solução de Mehlich outros parâmetros complementares medidos no solo.

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	Q. M. REGRES.	Q. M. RESÍD.	VALOR F	PROB. > F	COEF. DETER.	Cp DE MALL.	P	Cp-P
1 3 4 13	1297.64	63.95	20.29	0.01	0.84	-0.27	5	-5.27
1 3 13	1674.25	70.44	23.77	0.01	0.82	-0.57	4	-4.57
1 3 4 8 13	1042.15	67.08	15.55	0.01	0.85	1.52	6	-4.48
1 3 4 11 13	1041.81	67.20	12.00	0.01	0.85	1.54	6	-4.46
1 3 4 12 13	1039.51	68.02	11.85	0.01	0.84	1.65	6	-4.34
1 2 3 4 13	1039.39	68.06	11.81	0.01	0.84	1.66	6	-4.34
1 3 4 5 13	1038.64	68.33	14.25	0.01	0.84	1.70	6	-4.30
1 3 4 10 13	1038.14	68.51	14.25	0.01	0.84	1.72	6	-4.28
1 3 4 9 13	1038.12	68.51	14.16	0.01	0.84	1.72	6	-4.27
1 3 4 6 13	1038.12	68.52	14.16	0.01	0.84	1.72	6	-4.27
1 3 4 7 13	1038.12	68.52	14.13	0.01	0.84	1.72	6	-4.27
1 3 12 13	1271.35	70.96	14.07	0.01	0.83	0.79	5	-4.21
1 3 5 13	1260.59	73.83	11.45	0.01	0.82	1.23	5	-3.77
S. Q. TOTAL	6149.84					G. L. TOTAL	19	

Modelo genérico: $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + \dots + n \cdot x_{13}$,
onde:

x_1 = Mehlich; x_2 = MO(%); x_3 = pH H_2O ; x_4 = pH $CaCl_2$; x_5 = K; x_6 = Ca;
 x_7 = Mg; x_8 = H+Al; x_9 = S; x_{10} = T; x_{11} = V(%); x_{12} = dTFSA; x_{13} = Argila
(%).

APÊNDICE 21

Seleção de variáveis preditoras do modelo de absorção de P, da planta inteira (y), em teste de todas as possíveis regressões, a partir do P extraído pela solução de Resina (IAC) outros parâmetros complementares medidos no solo.

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	Q. M. REGRES.	Q. M. RESÍD.	VALOR F	PROB. > F	COEF. DETER.	Cp DE MALL.	P	Cp-P
1 3 4	1496.91	103.69	14.43	0.01	0.73	-3.34	4	-7.34
1 3 4 5	1148.05	103.84	11.05	0.01	0.75	-1.87	5	-6.87
1 3 4 7	1133.22	107.80	10.51	0.01	0.74	-1.56	5	-6.56
1 3 4 6	1131.56	108.24	10.45	0.01	0.73	-1.52	5	-6.52
1 3 4 9	1131.05	108.38	10.44	0.01	0.73	-1.51	5	-6.51
1 3 4 10	1130.88	108.42	10.43	0.01	0.73	-1.51	5	-6.51
1 3 4 12	1127.03	109.45	10.30	0.01	0.73	-1.43	5	-6.43
1 2 3 4	1126.35	109.63	10.27	0.01	0.73	-1.41	5	-6.41
1 3 4 11	1123.07	110.50	10.16	0.01	0.73	-1.34	5	-6.34
1 3 4 8	1123.04	110.51	10.16	0.01	0.73	-1.34	5	-6.34
1 3 4 13	1122.86	110.56	10.16	0.01	0.73	-1.34	5	-6.34
1 2 3 4 6	934.51	105.52	8.86	0.01	0.76	-0.29	6	-6.29
1 2 3 4 10	934.41	106.27	8.77	0.01	0.76	-0.23	6	-6.23
S. Q. TOTAL	6149.84					G. L. TOTAL	19	

Modelo genérico: $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + \dots + n \cdot x_{13}$,
onde:

x_1 = Resina (IAC); x_2 = MO(%); x_3 = pH H_2O ; x_4 = pH $CaCl_2$; x_5 = K; x_6 = Ca;
 x_7 = Mg; x_8 = H+Al; x_9 = S; x_{10} = T; x_{11} = V(%); x_{12} = dTFSa; x_{13} = Argila
(%).

APÊNDICE 22

Seleção de variáveis preditoras do modelo de absorção de P, da planta inteira (y), em teste de todas as possíveis regressões, a partir do P extraído pela resina- Fe(OH)_3 e outros parâmetros complementares medidos no solo.

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	Q. M. REGRES.	Q. M. RESÍD.	VALOR F	PROB. > F	COEF. DETER.	Cp DE MALL.	P	Cp-P
1 2 3 4 6	963.20	95.27	10.11	0.01	0.78	3.05	6	-2.95
1 2 3 4 9	957.77	97.21	9.85	0.01	0.78	3.28	6	-2.72
1 2 3 4 6 9	811.03	98.74	8.21	0.01	0.79	4.64	7	-2.36
1 2 3 4 10	948.97	100.36	9.46	0.01	0.77	3.64	6	-2.36
1 2 3 4 6 13	810.19	99.13	8.17	0.01	0.79	4.68	7	-2.32
1 2 3 4 6 11	809.19	99.59	8.12	0.01	0.79	4.73	7	-2.27
1 3 4	1494.44	104.16	14.35	0.01	0.73	1.81	4	-2.19
1 2 3 4 6 12 13	709.33	98.71	7.18	0.01	0.81	5.81	8	-2.18
1 2 3 4 6 10	807.40	100.42	8.04	0.01	0.79	4.82	7	-2.18
1 2 3 4 9 13	806.41	100.88	7.99	0.01	0.79	4.87	7	-2.13
1 2 3 4 7	942.80	102.56	9.19	0.01	0.77	3.90	6	-2.10
1 2 3 4 6 7	805.50	101.30	7.95	0.01	0.78	4.91	7	-2.09
1 2 3 4 6 8	804.60	101.71	7.91	0.01	0.78	4.96	7	-2.04
S. Q. TOTAL	6149.84					G. L. TOTAL	19	

Modelo genérico: $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + \dots + n \cdot x_{13}$,
onde:

x_1 = Mehlich; x_2 = MO(%); x_3 = pH H_2O ; x_4 = pH CaCl_2 ; x_5 = K; x_6 = Ca;
 x_7 = Mg; x_8 = H+Al; x_9 = S; x_{10} = T; x_{11} = V(%); x_{12} = dTFSA; x_{13} = Argila
(%).

APÊNDICE 23

Seleção de variáveis preditoras do modelo de absorção de P, da planta inteira (y), em teste de todas as possíveis regressões, a partir do P extraído pela resina-Fe(OH)₃ e outros parâmetros complementares medidos no solo.

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	Q. M. REGRES.	Q. M. RESÍD.	VALOR F	PROB. > F	COEF. DETER.	Cp DE MALL.	P	Cp-P
1 8 9 10 11 12 13	709.87	98.39	7.21	0.01	0.81	3.85	8	-4.14
1 2 8 9 10 11 12 13	638.85	94.46	6.76	0.01	0.83	4.91	9	-4.09
1 2 9 10 11 12 13	705.12	101.16	6.97	0.01	0.80	4.07	8	-3.92
1 9 10 11 12 13	795.27	106.01	7.50	0.01	0.77	3.17	7	-3.83
1 2 6 10 11 12 13	700.14	104.07	6.73	0.01	0.80	4.31	8	-3.69
1 3 4 6 11	919.96	110.71	8.31	0.01	0.75	2.31	6	-3.69
1 3 4 9 11	918.11	111.38	8.24	0.01	0.75	2.37	6	-3.63
1 3 4	1429.06	116.41	12.27	0.01	0.70	0.39	4	-3.61
1 3 12 13	1106.06	115.04	9.61	0.01	0.72	1.48	5	-3.52
1 6 10 11 12 13	786.35	110.13	7.14	0.01	0.77	3.52	7	-3.47
1 2 3 4 6 11	785.92	110.33	7.12	0.01	0.77	3.54	7	-3.46
1 3	2057.01	119.75	17.18	0.01	0.67	-0.46	3	-3.46
1 3 4 9 10 11	783.87	111.28	7.04	0.01	0.76	3.62	7	-3.38
S. Q. TOTAL	6149.84						G. L. TOTAL	19

Modelo genérico: $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + \dots + n \cdot x_{13}$,
onde:

x_1 = Resina (SA); x_2 = MO(%); x_3 = pH H₂O; x_4 = pH CaCl₂; x_5 = K; x_6 = Ca;
 x_7 = Mg; x_8 = H+Al; x_9 = S; x_{10} = T; x_{11} = V(%); x_{12} = dTFSa; x_{13} = Argila
(%).

APENDICE 24

Seleção de variáveis preditoras do modelo de absorção de P, da planta inteira (y), em teste de todas as possíveis regressões, a partir do P extraído pelo papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (com agitação) e outros parâmetros complementares medidos no solo.

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	Q. M. REGRES.	Q. M. RESÍD.	VALOR F	PROB. > F	COEF. DETER.	Cp DE MALL.	P	Cp-P
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13	464.80	17.91	25.95	0.01	0.98	14.00	14	0.00
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	494.31	31.16	15.86	0.01	0.96	18.18	13	5.18
1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13	485.77	45.79	10.61	0.01	0.95	23.90	13	10.90
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 12 13	484.80	47.47	10.21	0.01	0.94	24.55	13	11.55
1 2 3 4 6 7 8 9 10 11 12 13	482.69	51.07	9.45	0.01	0.94	25.96	13	12.96
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11	481.38	53.32	9.03	0.01	0.94	26.84	13	13.84
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11	522.21	50.69	10.30	0.01	0.93	26.64	12	14.64
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 12	520.74	52.71	9.88	0.01	0.93	27.54	12	15.54
1 2 3 4 6 7 8 10 11 12 13	519.00	55.10	9.42	0.01	0.93	28.61	12	16.61
1 2 3 4 5 6 7 8 10 11 12 13	475.77	62.94	7.56	0.01	0.93	30.60	13	17.60
1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	515.25	60.27	8.55	0.01	0.92	30.92	12	18.92
1 3 4 5 6 7 8 9 10 12 13	513.68	62.42	8.23	0.01	0.92	31.88	12	19.88
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	563.10	57.65	9.77	0.01	0.91	30.97	11	19.97
S. Q. TOTAL	6149.84					G. L. TOTAL	19	

Modelo genérico: $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + \dots + n \cdot x_{13}$,
onde:

x_1 = Papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (c/agit) x_2 = MO(%); x_3 = pH H_2O ; x_4 = pH CaCl_2 ; x_5 = K;
 x_6 = Ca; x_7 = Mg; x_8 = H+Al; x_9 = S; x_{10} = T; x_{11} = V(%); x_{12} = dTFSA;
 x_{13} = Argila (%).

APÊNDICE 25

Seleção de variáveis preditoras do modelo de absorção de P, da planta inteira (y), em teste de todas as possíveis regressões, a partir do P extraído pelo papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (sem agitação) e outros parâmetros complementares medidos no solo.

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	Q. M. REGRES.	Q. M. RESÍD.	VALOR F	PROB. > F	COEF. DETER.	Cp DE MALL.	P	Cp-P
1 3 13	1343.53	132.45	10.14	0.01	0.65	-2.60	4	-6.60
1 5 12 13	1048.66	130.34	8.04	0.01	0.68	-1.33	5	-6.33
1 2 3	1317.19	137.39	9.59	0.01	0.64	-2.25	4	-6.25
1 3 5 13	1042.18	132.07	7.89	0.01	0.68	-1.21	5	-6.21
1 13	1858.55	143.10	12.99	0.01	0.60	-3.21	3	-6.21
1 4 13	1305.14	139.65	9.34	0.01	0.64	-2.09	4	-6.09
1 5 13	1304.71	139.73	9.34	0.01	0.64	-2.08	4	-6.08
1 2	1837.59	145.57	12.62	0.01	0.60	-3.02	3	-6.02
1 3	1828.55	146.63	12.47	0.01	0.59	-2.94	3	-5.94
1 2 4	1292.81	141.96	9.11	0.01	0.63	-1.93	4	-5.93
1 3 11 13	1025.34	136.56	7.51	0.01	0.67	-0.91	5	-5.91
1 3 5 12 13	862.24	131.33	6.56	0.01	0.70	-0.15	6	-5.84
1 6	1816.46	148.05	12.27	0.01	0.59	-2.84	3	-5.84
S. Q. TOTAL	6149.84					G. L. TOTAL	19	

Modelo genérico: $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + \dots + n \cdot x_{13}$,
onde:

x_1 = Papel- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (s/agit) x_2 = MO(%); x_3 = pH H_2O ; x_4 = pH CaCl_2 ; x_5 = K;
 x_6 = Ca; x_7 = Mg; x_8 = H+Al; x_9 = S; x_{10} = T; x_{11} = V(%); x_{12} = dTFSA;
 x_{13} = Argila (%).