

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE
FÓSFORO DISPONÍVEL EM SOLOS DO ESTADO
DO RIO DE JANEIRO

DEJAIR LOPES DE ALMEIDA

Tese apresentada à Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro,
como parte das exigências do curso
de Ciência do Solo, para obtenção
do grau de "Magister Scientiae".

Junho de 1979

A meus pais e irmãos,

A meus sogros,

A minha esposa Denise,

A minhas filhas Juliana e Luciana,

dedico este trabalho.

AGRADECIMENTO

Ao professor Doracy Pessoa Ramos pela valiosa ajuda prestada na identificação e coleta dos solos.

Aos professores Ary Carlos Xavier Velloso e Jair Rocha Leal pela boa vontade e incentivo para concretização deste trabalho.

Aos colegas e amigos que de alguma forma me auxiliaram nesta tarefa.

Agradecimento especial ao professor Roberto Alvahydo pelo apoio recebido desde o início de minha vida profissional.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Natural de Bom Jardim, Estado do Rio de Janeiro, Engenheiro Agrônomo, diplomado pela Escola Nacional de Agronomia em 1966.

Durante os três últimos anos do Curso de Agronomia e xerceu a função de Monitor na Disciplina de Química Analítica.

No período 1965-1966 realizou trabalho de pesquisa em solos, como bolsista de Iniciação Científica do CNPq, sob orientação do Professor Roberto Alvahydo.

Em 1967 ingressou na Seção de Solos do IPEACS, onde trabalhou até 1975 realizando trabalhos de fertilidade do Solo. Foi Pesquisador Assistente do CNPq de 1968 a 1973. Exerceu o cargo de Assessor do Chefe da Representação da EMBRAPA no Estado Rio de Janeiro, no período de janeiro a novembro de 1975, quando foi nomeado Sub-Chefe da UCPAE de Itaguaí. Em março de 1976 foi designado Chefe da mesma Unidade, função que exerceu até dezembro de 1977. Em fevereiro de 1978 assumiu o cargo de Coordenador de Pesquisa Agropecuária da PESAGRO-RIO e foi designado Diretor Técnico Substituto da mesma Empresa.

Atualmente exerce o Cargo de Pesquisador da EMBRAPA à disposição da PESAGRO-RIO, na Estação Experimental de Itaguaí.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Formas de fósforo no solo	3
2.2. Fixação de fosfatos	7
2.3. Técnicas de avaliação de fósforo disponível para as plantas	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Solos	20
3.2. Caracterização física e química dos solos	23
3.3. Métodos de extração de fósforo	25
3.4. Experimento em casa de vegetação	26
3.5. Cálculos estatísticos	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1. Capacidade de fixação de fosfato	29
4.2. Resposta das plantas e suas relações com os métodos de extração	34

5. CONCLUSÕES	45
6. RESUMO	47
7. LITERATURA CITADA	50

RELAÇÃO DOS QUADROS

Número		Página
1	Capacidade de fixação de fosfato em solos do Estado do Rio de Janeiro	30
2	Coeficiente de correlação linear entre % de P fixado e algumas variáveis dos solos em estudo	33
3	Resultados do experimento de casa de vegetação, fósforo total e fósforo extraído pelos diferentes métodos	35
4	Rendimentos relativos anteriormente obtidos em experimentos de campo, envolvendo 15 dos 40 solos estudados	36
5	Coeficiente de correlação entre rendimento relativo e P extraído pelos diferentes métodos utilizados nos 40 solos estudados	39
6	Coeficiente de correlação entre P absorvido e P extraído pelos diferentes métodos utilizados, nos 40 solos estudados	40

Número		Página
7	Características de extração dos métodos utilizados	42
8	Correlação do fósforo absorvido pela planta com o determinado pelos métodos de extração estudados, de acordo com o agrupamento dos solos pelo conteúdo de argila	43

APÊNDICE

1	Resultados das análises químicas dos solos em estudo	61
2	Algumas características físicas e químicas dos solos estudados	62

1. INTRODUÇÃO

Devido ao grande número de fatores que interferem na disponibilidade do fósforo no solo, o comportamento deste elemento essencial ao desenvolvimento das plantas é bastante complexo e, por isso, tem exigido muita atenção por parte dos pesquisadores dos solos.

Métodos químicos são utilizados frequentemente para avaliar a disponibilidade de fósforo para as plantas e, com base nos resultados destas determinações, recomendações de adubação são feitas.

Os laboratórios de análise de solos do Estado do Rio de Janeiro e a quase totalidade dos laboratórios do Brasil utilizam o extrator Carolina do Norte (HCl 0,05N e H_2SO_4 0,025N) para avaliar o fósforo "disponível".

Experimentos realizados no extinto IPEACS, hoje EMBRAPA/PESAGRO-RIO, com diferentes culturas, em solos do Estado do Rio de Janeiro, mostraram nenhuma ou pouca resposta à aplicação de fósforo em alguns solos. Entretanto, a análise química destes mesmos solos, realizada através do método Carolina do Norte, revelava baixos teores de fósforo.

Tendo em vista tais resultados e considerando que são praticamente inexistentes em solos do Estado do Rio de Janeiro pesquisas que utilizem o método Carolina do Norte, e ainda, que os escassos estudos desse método, no Brasil, mostraram resultados inconstantes para diferentes solos e regiões, impossibilitando conclusões definitivas, decidimos realizar o presente trabalho, cujo objetivo é avaliar, através de estudos de correlação, o comportamento de quatro extratores de fósforo em solos do Estado, visando identificar aquele que assegure maior confiabilidade às recomendações de adubação fosforada baseadas na análise do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O estudo do fósforo nos solos tem ocupado a atenção dos especialistas, em virtude da grande influência deste elemento sobre a fertilidade, e as pesquisas realizadas delineiam três linhas fundamentais:

formas de fósforo no solo;

fixação (precipitação e adsorção) do P no solo;

extração do P "disponível".

2.1. Formas de fósforo no solo

O total de fósforo da crosta terrestre é da ordem de 10^{15} toneladas, que correspondem a cerca de 0,12% dela (Van Wazer, 1958). Os depósitos conhecidos de fosfatos minerais são estimados em 10^9 toneladas, e deles são extraídos anualmente 10^7 toneladas. Esses depósitos, dentro de pouco mais de uma centena de anos, estarão exauridos. Entretanto, novos depósitos vêm sendo descobertos em velocidade maior do que a da exaustão dos já em exploração (Van Wazer, 1961).

Na litosfera o fósforo ocorre sempre com nº de oxidação + 5, apresentando-se tetraedricamente coordenado com oxigênio.

Fosfatos condensados podem ocorrer na natureza em consequência de desidratação térmica de fosfatos ácidos, polimerização, excreção de células vivas e decomposição de células mortas (Miller & Parris, 1964). Hoje, os fosfatos condensados são usados como fertilizantes e como detergentes. Todavia, tanto em solos como nas águas naturais, os fosfatos condensados são hidrolisados rapidamente, dando ortofosfato através de ação microbiana (Suton & Larsen, 1964).

Aproximadamente 200 minerais fosfatados já foram encontrados na natureza; entretanto, apenas o grupo das apatitas é de importância (Larsen, 1967). A apatita tem a composição química $M_{10}(PO_4)_6X_2$ e frequentemente o íon metálico M é o cálcio e X é o fluoreto. A fluoroapatita, mineral de fósforo mais comum, é classificada entre os minerais mais facilmente intemperizáveis; assim, raramente ocorre como mineral primário em sedimentos.

No solo "virgem" o teor de fósforo varia grandemente e quantidades significantes são perdidas em sua formação possivelmente por lixiviação e erosão. Em escala global o solo não recebe fósforo de outra fonte que não o material originário. alguma redistribuição, contudo, ocorre pelo enriquecimento de algumas áreas e empobrecimento em outras. Nos tempos atuais essa redistribuição vem sendo facilitada pelo homem através do uso de fertilizante.

Embora o teor de P total no solo possa ser determinado com precisão razoável, o mesmo não acontece com a natureza dos compostos presentes (Larsen, 1967). Todavia, podem-se dividir os fosfatos no solo em duas categorias amplas: orgânico e inorgânico.

os fosfatos orgânicos provêm em geral da decomposição de plantas superiores, microrganismos e animais e se acumulam no solo, principalmente na forma de fosfolipídeos, ácidos nucleicos, inositol hexafosfato, gluco-fosfatos e pigmentos (Hemwall, 1957). A matéria orgânica constitui uma reserva importante de fósforo e seu papel torna-se mais relevante em solos bem desenvolvidos, predominantes nas regiões tropicais úmidas (Russell & Russell, 1968). Os fosfatos orgânicos constituem de 20 a 80% do fósforo total do solo (Larsen, 1967). O aproveitamento dos fosfatos orgânicos está relacionado com a mineralização da matéria orgânica, embora se façam referências ao aproveitamento da fitina e lecitina em cultivos hidropônicos (Rogers et al. 1940).

Dos fosfatos inorgânicos, os de alumínio, ferro e cálcio constituem os compostos mais importantes do ponto de vista químico. A natureza do fósforo inorgânico no solo não pode ser determinada por métodos diretos, tais como análise de raios-X ou métodos óticos sem concentração prévia, o que normalmente acarreta mudanças nas formas inicialmente presentes. Há vários métodos baseados no critério de solubilidade para obter informações a respeito das formas inorgânicas do solo. O método mais usado é aquele proposto por Chang e Jackson (1957), modificado por Chang e Liaw (1962). Esses autores englobaram diversos métodos em extrações consecutivas de fósforo, conforme o seguinte esquema:

- a) remoção do fósforo facilmente solúvel com cloreto de amônio 1N;
- b) remoção das formas de fósforo ligadas a alumínio com fluoreto de amônio 0,5N a pH 8,5;

- c) remoção das formas de fósforo ligadas a ferro com hidróxido de sódio 0,1N; o NaOH 0,1N solubiliza integralmente o fosfato de variscita e estrengita e traços do fosfato da apatita;
- d) remoção das formas de fósforo ligadas a cálcio com ácido sulfúrico 0,5N; o H_2SO_4 0,5N dissolve integralmente a apatita e aproximadamente 50% de variscita e estrengita;
- e) remoção dos fosfatos "solúveis em redutor" com citrato de sódio 0,3M mais dititionito de sódio;
- f) novas extrações com fluoreto de amônio para as formas "oclusas" de fósforo ligado a alumínio e com hidróxido de sódio para as formas "oclusas" de fósforo ligado a ferro.

Esses métodos são arbitrários porque os reagentes empregados inevitavelmente causarão redistribuição do fósforo durante a extração. O processo de fracionamento funciona bem quando o fósforo no solo já atingiu as formas mais estáveis de apatita variscita e estrengita, mas se o solo tiver sido fertilizado recentemente e contiver formas mais solúveis, estas não são bem diferenciadas (Pratt, 1966).

Alguns estudos têm tentado correlacionar o fósforo absorvido pelas plantas com as quantidades de várias formas de fósforo no solo. Suzuki et al. (1963) observaram que Ca-P e, secundariamente, Al-P, foram importantes no suprimento de fósforo para as plantas de cavada em 17 solos de Michigan, com pH variando de 4,8 a 7,8. Bishop e Barber (1958) verificaram ser o fósforo solú-

ve1 em ácido (Ca-P e Fe-P e em álcali (Al-P e Fe-P) importante no suprimento de plantas cultivadas em solos do planalto de Indiana. Plantas cultivadas em solos de Davidson, no Estado da Virginia, previamente tratados com superfosfato, utilizavam Al-P, Fe-P e Ca-P durante o primeiro ano de cultivo e Fe-P durante o segundo e terceiro anos de cultivo (Sing) et al. 1966).

Fassbender et al. (1968) estudando formas de fósforo em solos da América Central e sua relação com plantas verificaram boa correlação do fósforo absorvido pelas plantas com a fração de fósforo do solo solúvel em NH_4Cl , mas nenhuma correlação com as frações Ca-P, Al-P e Fe-P.

Juo & Ellis (1968), estudando a relação entre fósforo extraído pela planta de Sudan-Grass com fósforo ligado a formas cristalinas e formas amorfas de ferro e alumínio, verificaram que a disponibilidade relativa de P (de compostos sintéticos) foi estrengita < variscita<<< Fe-P coloidal Al-P coloidal.

2.2. Fixação de fosfatos

Os íons fosfato que são liberados através da decomposição da M.O., da ação do intemperismo e da dissolução de fertilizantes sofrem no solo reações de adsorção e precipitação.

O limite superior da concentração de fosfato em solução é estabelecido pelo equilíbrio heterogêneo (líquido-sólido) no qual ele toma parte. As reações envolvidas são de dissolução e precipitação de compostos fosfatados de solubilidade reduzida, controladas pelo princípio do produto de solubilidade, e pela adsorção de fosfato na superfície das partículas do solo (Larsen, 1967). Os compostos de solubilidade reduzida, de importância relevante no solo, são os de magnésio, de cálcio, de alumínio e de ferro.

Mesmo na ausência de íons capazes de precipitar o fosfato, este será ainda removido da solução através da adsorção na superfície das partículas do solo, tais como: argilas silicatadas e óxidos de ferro e de alumínio. A adsorção é fenômeno predominante em concentração de fosfato baixa média, na faixa abaixo de 0,1M (Low & Black, 1950; Olsen & Watanabe, 1957; Bache, 1964; Mujaldi et al. 1966). Em concentração de fosfato mais elevada, ao redor de 1,0M, reações de dissolução e precipitação ocorrem com formação de novas fases cristalinas (Larsen, 1967). Próximo à superfície das partículas de adubos, o comportamento do fosfato seria controlado pelas reações de precipitação, ao passo que a maior distância, o equilíbrio seria descrito por reações de adsorção-dessorção (Pratt, 1966).

Lindsay e Stephenson (1959a, b), estudando as reações do fosfato monocálcico $Ca(H_2PO_4)_2$ no solo, observaram o ponto triplo metaestável da solução (H_3PO_4 , $Ca(H_2PO_4)_2$ e $CaHPO_4$,) com pH de 1,0 a 1,5. Nestas condições, o Al e o Fe passam a solução e em seguida são precipitados como fosfatos de ferro e alumínio. A quantidade relativa dos componentes do solo fixadores de fósforo, como sesquióxidos amorfos, argilas minerais, matéria orgânica, carbonato de cálcio e íons alumínio e ferro, determinam a magnitude da fixação (Suehisa, 1963).

Solos das regiões tropicais apresentam com bastante frequência valores de pH baixos, teores elevados de óxidos amorfos de ferro e alumínio e grande quantidade de cargas eletropositivas, o que lhes confere elevada capacidade de fixação (Fassbender, 1966).

O comportamento da adsorção de fosfato pode ser estudado analiticamente pelo emprego de uma das isotermas de adsorção existente.

A isoterma de Freudlich, mais antiga, tem sido usada para este fim, sendo expressas por

$$x = ac^b,$$

ou, em forma linear,

$$\log x = \log a + b \log c,$$

em que x é a quantidade de fósforo adsorvido por unidade de peso de solo; c é a concentração de fósforo na solução e a e b são constantes que variam com os solos. Esta isoterma é puramente empírica e as constantes a e b não tem significado físico-químico. A isoterma de Freundlich tem sido usada por diversos autores (Low & Black, 1950, Kurtz et al., 1946, Davis, 1935 e Russel & Low, 1954).

Outra isoterma conhecida, a isoterma de Langmuir, tem constantes que permitem uma interpretação físico-química quando aplicada à adsorção de gases em sólidos. Olsen e Watanabe (1957) foram os primeiros a usar esta isototerma para descrever adsorção de fosfato pelo solo. Usaram a expressão em sua forma linear,

$$\frac{C}{x/m} = \frac{1}{Kb} + \frac{C}{b},$$

em que C significa a concentração de fosfato em equilíbrio, em lugar de pressão parcial, $\frac{x}{m}$ é a quantidade de fosfato adsorvido por unidade de massa do adsorvente, b a capacidade máxima de adsorção e K uma constante relacionada com a energia de ligação. Após a aplicação feita por Olsen e Watanabe (1957), a isoterma tem sido aplicada a dados de adsorção de fósforo por diversos autores (Rennie & McKercher, 1959; Hsu, 1964; Woodruff & Kamprath, 1965; Muljadi et al., 1966; Fassbender, 1966, Sá et al., 1968; Velloso, 1969; Magalhães, 1969; Leal, 1971). Os valores de adsorção máxima têm sido correlacionados com diversas características do solo.

A capacidade de fixação de fosfato pelos solos tem sido determinada por diversos métodos. A medida através do decréscimo da concentração de fósforo de uma solução equilibrada com solo é o método mais usado (Velloso, 1969; Kinjo, 1970; Leal, 1971). Fassbender (1969), trabalhando com 107 solos da América Central, encontrou valores de retenção de fósforo que variaram entre 9,7 e 94,1% do aplicado, e estes valores mostraram boa correlação com a porcentagem de matéria orgânica, ferro livre e pH cm CaCl_2 . Roeder e Bornemisza (1968), analisando solos altamente intemperizados do Maranhão, encontraram valores de retenção de fósforo que oscilaram entre 84,2 e 91,6% do aplicado. Fassbender (1969), trabalhando com oito solos da Amazônia, verificou valores de retenção entre 26,8 e 51,6%, que apresentaram correlação significativa com a porcentagem de carbono e de alumínio trocável. Leal (1971) trabalhando com nove solos de cerrado, encontrou valores de retenção máxima que variaram entre 23 e 70 mg de P/100 g de solo e que se correlacionaram significativamente com a porcentagem de carbono, de Argila e de Al_2O_3 . Trabalhos realizados na Seção de Solos do ex-IPEACS (resultados não publicados) mostraram que, para os 20 solos estudados, usando-se o método preconizado por Waugh e Fitts (1966), a retenção foi de 20 a 84% do fósforo aplicado.

Apesar de as técnicas usadas não permitirem conhecer, sob condições de campo, as quantidades realmente fixadas, bem como o grau de disponibilidade para as plantas do fósforo caracterizado como fixado, elas dão uma idéia relativa do comportamento dos solos ante a aplicação de fósforo (Cabala 1975).

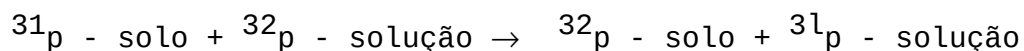
2.3. Técnicas de avaliação de fósforo disponível para as plantas

Há vários métodos para determinação do fósforo disponível

ve1 no solo, os quais diferem em princípios e detalhes técnicos.

2.3.1. Diluição Isotópica

O fósforo lábil (Russel et al 1954) é definida, como uma porção de fósforo do solo, a qual pode passar para a solução pela troca isoiônica para restabelecer o equilíbrio em decorrência da absorção desse elemento pelas raízes das plantas. Mc Auliffe et al (1948) foram os primeiros a usar radio-fósforo em pesquisa de solo. Para determinação do fósforo lábil utiliza-se a técnica da diluição isotópica com o rádio-fósforo ^{32}p , de acordo com a reação a seguir:



$$K = \frac{\boxed{^{31}\text{p}} \quad \boxed{^{32}\text{p}} \quad \boxed{^{31}\text{p}}}{\boxed{^{32}\text{p}} \quad \boxed{^{31}\text{p}} \quad \boxed{^{31}\text{p}}} = 1$$

A partir desta reação pode ser calculado o fósforo isotopicamente trocável ou hábil. Dois índices são os mais indicados em diluição isotópica: Valor E (Russel, 1954) e valor L (Larsen, 1950, 1952). O primeiro é medido em laboratório, sem utilização de plantas, determinando somente a atividade específica na solução de equilíbrio. O valor L mede o fósforo isotopicamente trocável através do crescimento de plantas, utilizando maior tempo de equilíbrio e avaliando-se a atividade na própria planta.

2.3.2. Potencial químico

Schofield (1955) sugeriu que a disponibilidade de fósforo para a planta é determinada pelo potencial químico adequado e pela manutenção deste potencial, quando há remoção de fósforo pelo vegetal. O potencial sugerido por Schofield foi sob a forma de fosfato monocálcico ($0,5 \text{ p Ca} + \text{pH}_2\text{PO}_4$) determinado em solução de CaCl_2 $0,01\text{M}$, em substituição à água.

O conceito de potencial proposto por Schofield (1955) indica ainda que solos com o mesmo potencial podem diferir na capacidade de manter constante a atividade de fósforo em solução quando há remoção ou adição deste elemento ao solo, alterando o fator capacidade. Esta capacidade foi descrita por Beckett e White (1964) como sendo a propriedade do solo em manter constante o parâmetro intensidade na solução do solo.

Fassbender (1966), ao correlacionar o potencial do fosfato monocálcico com respostas de cultivos, encontrou associações estreitas, com coeficiente de correlação variando de $0,77$ a $0,84$. A utilização do potencial de ácido fosfórico ($\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4$), potencial de cálcio ($\text{pH} + \text{pCa}$) e alumínio ($\text{pH} - 0,33\text{p Al}$), em solos da América Central, tem possibilitado também estabelecer isotermas de solubilidade para diferentes fosfatos do solo, de modo a identificar as fontes que abastecem a solução do solo (Fassbender 1966, 1969).

A utilização prática dos potenciais químicos apresenta várias limitações, entre elas, laboriosidade do método, atividade microbiana e falta de equilíbrio (Larsen, 1967).

2.3.3. Extratores

Dentre os extratores usados para fósforo incluem-se: água, ácidos fortes, bases, sais, agentes complexantes, combinações de agentes complexantes e ácidos fortes e resina de troca aniônica.

2.3.3.1. Extração com água

Vários trabalhos (Blenkinsop, 1938; Burd & Murphy, 1939 ; Bingham, 1949; Vander Paauw, 1971; Sissingh 1971) têm desenvolvido métodos baseados na extração do fósforo do solo com água. Sob certas condições de cultivos e solo, estes métodos têm-se mostrado satisfatórios para prever a resposta da cultura à fertilização fosfatada. Uma das maiores objeções ao uso deste método é o caráter não tamponador da água, o qual dá grandes variações nos resultados, devido serem eles marcadamente influenciados pelo pH do solo (Magalhães, 1969). Também a quantidade de fósforo extraída com água em muitos solos nativos é tão baixa que não pode ser medida analiticamente.

2.3.3.2. Extração de fósforo com sais diluídos e soluções ácidas

A maioria dos métodos rápidos para determinar o fósforo disponível para as plantas se baseia em soluções diluídas de sais e ácidos (Bingham, 1962). Estes extratores apresentam desvantagem, pois reagem com os componentes do solo alterando as condições naturais. Assim, Williams (1951) mostrou que as plantas são capazes de retirar mais fósforo do solo após a remoção do fosfato assimilável por meio de ácido acético ou sulfúrico diluído. Bray e Kurtz (1945) propõem um método baseado num ácido forte e um agen-

te complexante. O íon fluoreto tem a propriedade de complexar o Al^{+++} e o Fe^{+++} em solução ácida, com consequente liberação do fósforo ligado a estes íons trivalentes. A solução extratora de NH_4F 0,03N e HCl 0,025N (Bray 1) tem sido amplamente usada com resultados que são altamente correlacionados com respostas do cultivo (Magalhães, 1969).

Os mesmos autores (Bray e Kurtz) propõem outro extrator (Bray 2) com alta concentração de ácido, HCl 0,1N. Este último é indicado para extrair fosfatos adsorvidos e solúveis em soluções ácidas. O fósforo ligado ao cálcio também é removido, dependendo da força do ácido. Naturalmente o Bray 2 remove muito mais fosfato ligado a cálcio que o Bray 1. Bailey (1967), trabalhando com solo podzólico vermelho-amarelo, verificou que o Bray 2 fornece melhores resultados para predizer a produção de milho. Vajragupta et al. (1963), encontraram boa correlação entre índice Bray 2 e Bray 1 e fósforo absorvido pela planta em alguns solos tropicais.

Anghinoni e Bohnen (1974), comparando extratores em solos do Rio Grande do Sul, verificaram que o Bray-2 se mostrou mais eficiente na recuperação do fósforo adicionado.

Oko e Agboola (1974), comparando oito métodos de determinação de fósforo em solos da Nigéria, cultivados com arroz, obtiveram melhor correlação para o método de Bray-1.

Enwezor (1977), comparando sete extratores para determinação de fósforo em 30 amostras de solos da Nigéria, usando como planta teste o milho, obteve associações significativas para todos os extratores, no entanto os maiores coeficientes foram obtidos quando se usou o método de Bray-2 e o da resina, o que o levou a concluir que estes dois métodos são os mais eficientes para ava -

liar o fósforo disponível para os solos estudados.

Olsen et al. (1954) desenvolveram um método baseado numa solução tamponada de NaHCO_3 0,5M a pH 8,4. Esta solução remove fósforo por meio de troca de anions e hidrólises, devido ao alto pH da solução. Os íons bicarbonato têm a propriedade de precipitar o cálcio como CaCO_3 tornando mais soluvel o Ca-P, extraível pela diminuição da atividade do cálcio. Removem também o fósforo ligado ao alumínio, provavelmente pela substituição e precipitação do alumínio (Walsh et al. 1973). Em solos ácidos contendo Al-P e Fe-P, semelhantes e variscita e strengita, a concentração de fósforo na solução também aumenta pelas variações de pH (Lindsay & Moreno, 1960).

Ortega (1963), Morillo e Fassbender (1968); White e Haydock (1967); Walmsley e Cornforth (1973) e Feitosa e Van Raij (1975), em estudos de comparação de extratores, encontraram as melhores correlações entre resposta de cultivo e fósforo extraído pelo extrator de Olsen.

Nelson et al (1953) desenvolveram o método de Mehlich, baseado numa solução extratora constituída de HCl 0,05N e H_2SO_4 0,025N, para avaliar fósforo em alguns solos de Carolina do Norte, capazes de fixar fósforo fortemente. Este método é de uso generalizado nos Laboratórios de Análises de Solos do Brasil e é conhecido entre nós como Carolina do Norte (NC). Entre as dificuldades que apresenta, a principal é a que se refere à baixa capacidade de extração.

Nos trabalhos realizados com solos de diversas regiões do Brasil, tem-se procurado comparar este extrator com outros também bastante difundidos. Vandenberg (1968), ao comparar cinco métodos de extração com a resposta biológica do sorgo, em solos do Rio

Grande do Sul, assinalou que os coeficientes de correlação encontrados obedeciam à seguinte sequência decrescente: HCL 0,1, Olsen, Mehlich 1:5, Bray-1, Mehlich 1:10. Anghinoni e Bohnen (1972), comparando os métodos de Mehlich, Bray-2, Olsen e Morgan para solos do Rio Grande do Sul, verificaram não haver diferenciação perfeita entre esses métodos e que todos eram igualmente eficientes para avaliarem a disponibilidade de fósforo. Fonseca et al. (1967) verificaram em ensaios de microparcelas do milho, realizados no Sul da Bahia, existir boa associação entre a massa fresca de milho e os teores de fósforo extraídos pelo método do Mehlich; encontraram também uma correlação estreita entre esses métodos e o de Bray, Cabala e Fassbender (1971), trabalhando também com solos do Sul da Bahia, ao compararem os métodos de extração de Olsen, Truog, Egner-Riehm e Mehlich, em duas relações solo: solução extratora, com a resposta do sorgo, verificaram que os coeficientes de correlação evidenciaram a seguinte sequência decrescente: Olsen, Truog, Egner-Riehm, Mehlich 1: 10, Mehlich 1:4. Cabala e Santana (1972), utilizando plântulas de cacau para medir a resposta à adição de fósforo e comparando os extratores do Truog, Mehlich, Egner-Riehm, Olsen e Olsen modificado, verificaram que esses métodos se correlacionavam em diferentes graus com a massa seca das partes aéreas das plantas e que os coeficientes de correlação mostraram a seguinte sequência decrescente: Truog ($r = 0,8252^*$), Egner-Riehm ($r = 0,8200^*$), Olsen modificado ($r = 0,7900^*$), Olsen ($r = 0,7760^*$) e Mehlich ($r = 0,6999$ NS). Neste trabalho constatou-se também que o extrator de Mehlich foi o que apresentou menor poder de extração.

Mielniezuk (1969) concluiu que o método Carolina do Norte

(Mehlich) apresenta menor capacidade da recuperação do que o Bray-1, sendo esta diferença mais acentuada nos solos argilosos. Sá Júnior et al. (1974), ao compararem os métodos de extração de Mehlich, Bray-1, Bray-2, Olsen e Hawaii com a resposta do milho, em solos de Pernambuco, verificaram que a análise estatística só evidenciou correlação positiva, significativa ao nível de 5%, para o método do Hawaii.

Galvão (1976), em trabalho visando avaliar a disponibilidade do fósforo, em solos do Rio Grande do Sul, através dos métodos de Mehlich, Bray-1 e Olsen, verificou que esses métodos se correlacionaram bem com o fósforo retirado pelas plantas de trigo, pois os valores de r foram elevados e semelhantes, sendo mais elevado para o método de Olsen.

2.3.3.3. Extração com resina de troca aniônica

Os métodos de determinação de fósforo disponível para as plantas, baseados em extração com soluções químicas, provocam mudanças no solo e por isto são considerados métodos destrutivos. A técnica de resina, além de não provocar mudanças no solo, é um caminho simples para trabalho de rotina e confere boas correlações entre o fósforo extraído e o absorvido pelas plantas (Magalhães 1969). Amer et al. (1955) introduziram a técnica e demonstraram que, sob condições apropriadas, a extração de fósforo pela resina depende da liberação do fósforo do solo e não das propriedades inprentes à resina. Moser et al. (1959) constataram que a quantidade de fósforo adsorvida do solo pela resina correlaciona bem com o fósforo absorvido pela planta. Cooke e Hislop (1962), investigando a técnica de

resina, propuseram um método capaz de eliminar as interferências que surgem devido à presença de sais solúveis no solo e variações de temperatura durante o período de extração.

Cooke e Hislop (1963) ampliaram os estudos buscando outro parâmetro de intensidade ou equilíbrio entre o solo e a resina, concluindo que o equilíbrio ocorre após 16 horas de contato e que os valores de fósforo liberado obtidos correlacionam significativamente ($r = 0,91$) com o fósforo absorvido pelas plantas.

Du Plessis e Burger (1966), trabalhando com solos da África do Sul, obtiveram altas correlações entre o fósforo absorvido pelas plantas e a quantidade extraída pela resina.

Hislop e Cooke (1968) chamaram a atenção para os fatores que podem influenciar a quantidade de fósforo extraída do solo pelo método da resina, alertando para as precauções que devem ser tomadas do modo a padronizar o método:

- a) volume relativo de solo, resina e água;
- b) superfície de contato do solo e resina (governada pelo tamanho da partícula);
- c) temperatura da suspensão;
- d) duração e vigor da agitação.

Saunders e MetelnerKamp (1962), trabalhando com solos da Rodésia, obtiveram bons resultados e sugeriram o uso do método de resina trocadora de ânion para determinação de fósforo disponível em trabalhos de rotina.

Trabalhos recentes vêm tentando facilitar a execução do uso do método da resina trocadora de ânions em laboratórios de rotina. Sibbensen (1977) descreve um método em que a resina é colo-

cada em saquinho de nylon, facilitando assim a sua separação do solo, mas mantém ainda a moagem do solo. Em trabalho anterior, Zunino et al. (1972) haviam descrito método em que a resina é também incluída em saquinho, mas sem exigência de moagem especial das amostras de solo para determinação de P, o que certamente torna o método de execução bem mais simples.

Palma e Fassbender (1970), em estudos realizados com 40 solos da América Central, encontraram coeficiente de correlação de 0,93 entre fósforo absorvido por tomateiro e fósforo adsorvido pela resina em 18 horas de equilíbrio. Os mesmos autores concluíram que, tanto o fósforo de equilíbrio como o fósforo de "reserva" determinado através da soma de cinco equilíbrios sucessivos entre o solo e a resina, são parâmetros significativos para avaliar a disponibilidade de fósforo do solo. Quando compararam o método da resina com cinco outros métodos, Palma e Fassbender (1970) concluíram que o método da resina supera os demais na avaliação do fósforo disponível do solo.

Crisanto e Sutton (1973), determinando fósforo disponível em solo da Espanha, encontraram alta correlação entre o fósforo determinado através do uso da resina e absorvido pela planta e também alta correlação entre o primeiro e o Valor L da diluição isotópica.

Walmsley e Cornforth (1973), comparando nove métodos de determinação de fósforo em solos da Índia, obtiveram melhores resultados com os métodos de Olsen e o da resina. Foram também estes os que se mostraram menos sensíveis às variações das propriedades do solo. Entretanto, ocorreu uma exceção quando o método da resina foi usado para solos com baixa porcentagem de saturação de bases.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido, tanto na sua fase de laboratório quanto na casa de vegetação, nas dependências da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, situada no km 47 da Antiga Estrada Rio-São Paulo, Itaguaí-RJ.

3.1. Solos

Os solos empregados neste estudo foram dez Podzólicos Vermelho-Amarelo, nove Latossolos Vermelho-Amarelo, dez solos Podzólicos Vermelho-Amarelo Latossólicos de tabuleiro desenvolvidos de sedimentos do terciário, nove Hidromórficos e Aluviais e dois Brunizens, todos coletados no Estado do Rio de Janeiro. Os trabalhos foram conduzidos em amostras compostas, coletadas até à profundidade de 20 cm. Esses solos serão referidos por um número, de acordo com a descrição abaixo:

- Solo 1: Podzólico Vermelho-Amarelo; coletado na Fazenda Triunfo, a 6 km de Natividade, na Estrada para Porciúncula, entrada à direita, Município de Natividade;
- Solo 2: Podzólico Vermelho-Amarelo Equivalente Eutrófico; coletado na Fazenda Calcira, a 2 km de Bom Jesus, na estrada para Itaperuna, Município de Bom Jesus do Itabapoana;
- Solo 3: Podzólico Vermelho-Amarelo equivalente Eutrófico; coletado na Fazenda União, Distrito de Santo Eduardo, Município de Campos.

- Solo 4: Podzólico Vermelho-Amarelo; coletado na Fazenda São Pedro, na estrada Miracema-Itaperuna, Município de Miracema;
- Solo 5: Podzólico Vermelho-Amarelo Equivalente Eutrófico; coletado na Fazenda Experimental de Itaocara, da Secretaria de Agricultura, Município de Itaocara;
- Solo 6: Podzólico Vermelho-Amarelo; coletado na Fazenda Santa Mônica, da EMBRAPA, Município de Valença;
- Solo 7: Podzólico Vermelho-Amarelo; coletado na Fazenda Las Mercedes, Município de Paraíba do Sul;
- Solo 8: Podzólico Vermelho-Amarelo; coletado na Granja Enedina, Município de Paraíba do Sul;
- Solo 9: Podzólico Vermelho-Amarelo; coletado na UEPAE de Itaguaí, km 47 da antiga Estrada Rio-São Paulo, Município de Itaguaí;
- Solo 10: Podzólico Vermelho-Amarelo intermediário para Latossolo Vermelho-Amarelo; coletado na Fazenda São Geraldo, Município de Paraíba do Sul;
- Solo 11: Latossolo Vermelho-Amarelo; coletado na Fazenda Bela Vista, na estrada Natividade - Varre Sai, Município de Natividade;
- Solo 12: Latossolo Vermelho-Amarelo; coletado na Fazenda do Deserto, estrada Natividade-Porciúncula, Município de Porciúncula;
- Solo 13: Latossolo Vermelho-Amarelo; coletado na Fazenda Experimental de Italva, da Secretaria de Agricultura, Município de Campos;
- Solo 14: Latossolo Vermelho-Amarelo; coletado na Fazenda Boa Esperança, estrada Miracema-Itaperuna, Município de Miracema;
- Solo 15: Latossolo Vermelho-Amarelo; coletado na Fazenda Flaresta, estrada Cantagalo - Alóm Paraíba;
- Solo 16: Latossolo Vermelho-Amarelo; coletado na Fazenda Campo Belo, Município do Bom Jardim;

- Solo 17: Latossolo Vermelho-Amarelo; coletado na Fazenda Pau D'alho, Município de Valença;
- Solo 18: Latossolo Vermelho-Amarelo; coletado no sítio Galeriano, 1ª entrada para Pirineirai, Município de Pirai;
- Solo 19: Latossolo Vermelho-Amarelo; coletado no IRSAIR, Município de Magé;
- Solo 20: Terciário; coletado na estrada Outeiro-Travessão, a 2 km da Usina do Outeiro, Município de Campos;
- Solo 21: Terciário; coletado na estrada Outeiro-Travessão, a 6 km da Usina, Município de Campos;
- Solo 22: Terciário; coletado na estrada Outeiro-Travessao, a 1% Km da Usina, Município de Campos;
- Solo 23: Terciário; coletado na estrada Outeiro-Travessão, a 17 km da Usina, Município de Campos;
- Solo 24: Terciário; coletado no km 17 da estrada Campos-Vitória, Município de Campos;
- Solo 25: Terciário; coletado no km 15 da estrada Campos-Vitória, estrada à esquerda, Município de Campos;
- Solo 26: Terciário; coletado na estrada Campos-Macaé, entrada à esquerda, a 2 km da estrada próxima ao posto Planície, Município de Campos;
- Solo 27: Terciário; coletado no km 10 da estrada Campos-Macaé, em frente ao Posto Rodoviário, Município de Campos;
- Solo 28: Terciário; coletado na estrada Travessão-Barra do Itapoana, a 8 km de Travessão, à esquerda, Município de Campos;
- Solo 29: Terciário; coletado na estrada Travessão-Barra do Itapoana, a 6 km de Travessão, à esquerda, Município de Campos;
- Solo 30: Aluvial; coletado na Fazenda Conceição, estrada Itaporuna-Natividade, à direita, Município de Natividade;

- Solo 31: Aluvial; coletado na Fazenda Serraria, estrada Itaperuna-Natividade, Município de Natividade;
- Solo 32: Aluvial; coletado na Fazenda do Deserto, estrada Natividade-Porciúncula, Município de Porciúncula;
- Solo 33: Aluvial; coletado na Fazenda Experimental de Italva, da Secretaria de Agricultura, Município de Campos;
- Solo 34: Aluvial; coletado a 500 m de Batatal, lado direito da estrada Itaocara-Batatal, Município de Itaocara;
- Solo 35: Gray pouco húmico; coletado na Fazenda Corumandel, estrada Natividade-Porciúncula, Município de Porciúncula;
- Solo 36: Gley pouco húmico; coletado na Fazenda Barro Branco, estrada Miracema-Pádua, lado direito, Município de Santo Antônio de Pádua;
- Solo 37: Gley pouco húmico; coletado na Fazenda Experimental de Itaocara, da Secretaria de Agricultura, Município de Itaocara;
- Solo 38: Planossolo; coletado na Fazenda das Taboas, estrada Natividade-Purilândia, Município de Natividade;
- Solo 39: Brunizem pardo; coletado na Fazenda Bom Jardim, a 7 km do Bom Jesus do Itabapoena, à esquerda; na estrada Bom Jesus-Itaperuna, Município de Bom Jesus do Itabapoena;
- Solo 40: Brunizem Avermelhado; coletado na estrada Laranjais - Euclidelândia, lado esquerdo, a 12 km de Euclidelândia, Município de Santagalo.

3.2. Caracterização física e química dos solos

Análise mecânica

Foi feita por sedimentação em cilindro de Koettgen, usando-se como agente de dispersão o NaOH 1N.

Equivalente de umidade

Foi realizado pelo método da centrifuga, descrito por Vettori (1969).

Análise química

Matéria orgânica. Adotou-se o método de Walkley-Black, descrito por Jackson (1958).

pH em água e em KCl 1N. Foram determinados potenciometricamente na relação solo:líquido 1:2,5.

Alumínio, Cálcio e Magnésio trocável. 10 g de solo foram agitados durante cinco minutos com 100 ml de solução 1N de cloreto de potássio. Após uma noite de contato, retiraram-se alíquotas para dosar o alumínio com solução de Na OH e o cálcio e o magnésio com EDTA.

Potássio e Sódio trocável. 10 g de solo foram agitados durante cinco minutos com 100 ml de solução 0,05N em HCl e 0,025N em H_2SO_4 . Após uma noite de contato retirou-se alíquota e determinou-se diretamente no fotômetro de chama.

Hidrogênio trocável. Usou-se como extrator o acetato de cálcio normal pH 7,0 e sua determinação foi feita pela titulação da acidez resultante de 10 g de solo com 150 ml da solução extratora.

Valor T. Foi obtido pela soma de S, H^+ e Al^{+++} .

Ferro, Sílica, Alumínio e Fósforo total. Foram determinados pelo ataque sulfúrico, segundo Vettori (1969).

Adsorção de fósforo

Um g de solo foi agitado com 50 ml de solução de KH_2PO_4 $10^{-3}M$, 0,02M em KCl, utilizando-se um agitador rotativo tipo Wagner. Após 18 horas de agitação, foi determinado o pH da solução em equilíbrio, em seguida as amostras foram centrifugadas (2.000 - 2.500 rpm) e o fósforo foi dosado na solução em equilíbrio. O fos

fato adsorvido foi calculado pela diferença entre a concentração inicial e a final da solução. Para dosagem do fósforo usou-se o método colorimétrico do molibdato de amônio reduzido pelo ácido ascórbico, em meio sulfúrico, descrito por Vettori (1969).

3.3. Métodos de extração de fósforo

Os métodos de extração de fósforo usados no presente estudo são descritos a seguir.

3.3.1. Método de Carolina do Norte (Mehlich)

Dez g de solo secado ao ar são agitados com 100 ml de uma solução de HCl 0,05N e H_2SO_4 0,025N durante cinco minutos, deixando-se, após, em repouso até o dia seguinte (16 horas). Do sobrenadante retira-se uma alíquota e determina-se o fósforo colorimetricamente, usando-se o ácido ascórbico como redutor, na presença de molibdato de amônio, ácido sulfúrico e sal de bismuto. Este método foi descrito por Vettori (1969).

3.3.2. Método de Bray-1

A 2 g de solo secado ao ar adicionam-se 14 ml de uma solução de HCl 0,025N e NH_4F 0,03N; agita-se durante 1 minuto, filtra-se em papel Whatman 42 e determina-se o fósforo pelo método cloromolíbico (Bray & Kurtz, 1945).

3.3.3. Método de Olsen

A 5 g de solo secado ao ar adicionam-se 100 ml de uma solução de NaHCO_3 0,5M (com pH ajustado a 8,5) e 1 g de carvão ativado livre de fósforo; a suspensão é agitada durante 30 minutos e

filtrada em papel Whatman 42. O fosfato é determinado no filtrado, pelo método do molibdato em ácido clorídrico (Olsen et al. 1954).

3.3.4. Método da resina

Toma-se 1 g de solo passado em tamis 0,25 mm de malha e 1 g de resina Amberlito, IRA - 400 AR, adicionam-se 200 ml de água deionizada e agita-se por 18 horas à temperatura do laboratório, mais ou menos 25°C. Depois da agitação a solução é passada em tamis que deixa passar o solo, mas não a resina. Lava-se a resina com água deionizada para eliminar partículas de solo aderidas. Extrai-se o fósforo com 50 ml de solução 1N de sulfato de sódio e no extrato ele é determinado colorimetricamente, tomando-se uma alíquota adequada, pelo método sulfomolibdico, usando o ácido ascórbico como redutor.

3.4. Experimento em casa de vegetação

Para se estabelecerem as relações entre o fósforo extraído pelos diversos métodos e o fósforo retirado pelas plantas, foi realizado experimento em casa de vegetação, em vasos de polietileno com 1,5 kg de solo.

3.4.1 Delineamento experimental

Usou-se o delineamento de blocos ao acaso com dois tratamentos e três repetições; os tratamentos constituíram-se em adubação com $P_0N_1K_1Ca_1Mg_1$ e $P_1N_1K_1Ca_1Mg_1$, ambos com micronutrientes.

3.4.2. Correção da acidez

Os solos 7, 10, 11, 12, 18, 19, 28 e 30, que apresentaram teor de alumínio trocável acima de 0,3 mE/100 g de solo, foram corrigidos quanto à acidez, com aplicação de hidróxido de cálcio correspondente a duas vezes o número de mE de alumínio trocável e aplicação de água até o equivalente de umidade. Assim permanecem por um mês, encubados em sacos plásticos. Antes de serem colocados nos potes, foram secados ao ar e uniformizados.

3.4.3. Adubação

O fósforo foi aplicado em forma de NaH_2PO_4 , em solução. A quantidade aplicada equivaleu a 300 kg/ha. Os outros nutrientes também foram aplicados em solução, no plantio e semanalmente, durante todo o período do experimento.

Aplicaram-se 75 ml por pote da solução com a seguinte composição:

12,5 ml de NH_4NO_3 1M/l;

25,0 ml de KNO_3 1M/l;

50,0 ml de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1M/l;

25,0 ml de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,5M/l;

10,0 ml de solução de micronutrientes/l;

composição da solução de micronutrientes:

H_2BO_3 , 1,55 g/l;
 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0,90 g/l;
 $\text{SnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,58 g/l;
 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0,02 g/l;
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 12,96 g/l;
 Ácido cítrico, 5,00 g/l.

O Potássio só foi usado uma vez; nas aplicações seguintes o KNO_3 foi substituído por NH_4NO_3 , mantendo-se o nível de nitrogênio. O sorgo foi escolhido como planta teste devido ao seu rápido desenvolvimento e sensibilidade à deficiência de fósforo. Dez sementes foram postas a germinar nos vasos experimentais e, dez dias após, foi feito o desbaste para cinco plantas, escolhidas em cada vaso, em função do seu tamanho e posição no vaso. A unidade do solo foi conservada, aproximadamente, em torno do equivalente de umidade. A correlação da umidade era feita duas ou três vezes ao dia, aplicando-se água lentamente até saturação e ocorrência de drenagem mínima e toda a água drenada era restituída aos respectivos vasos. Trinta dias após a semeadura, as plantas foram colhidas, tendo sido cortadas ao nível do solo. Após secagem em estufa a 70°C até peso constante foi determinado o rendimento como matéria seca. Calculou-se a quantidade de fósforo absorvido por vaso com base na análise realizada na matéria seca, passada em moinho Willey e digerida com ácido nítrico e perclórico.

3.5. Cálculos estatísticos

A análise estatística dos resultados foi realizada por computação, no Departamento de Métodos Quantitativos da EMBRAPA.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para apresentação dos resultados, os solos foram agrupados tomando-se como critério sua classificação. Os resultados das análises químicas e físicas encontram-se nos Apêndices 1 e 2.

Aposar de ser o objetivo principal o estudo do comportamento de quatro métodos de extração de fósforo dos solos, visando a avaliação da disponibilidade de P para as plantas, fez-se também a caracterização dos solos trabalhados quanto à capacidade de fixação de fosfato.

4.1. Capacidade de fixação de fosfato

Os resultados do Quadro 1 mostram que houve grande variabilidade na capacidade de fixação e o maior número de amostras apresenta fixação entre 15 e 30% (0,75 a 1,50 mmol/100 g), com exceção dos solos derivados de sedimentos terciários que, praticamente, não fixaram fosfato. Considerando os 40 solos estudados, a variação foi de 1,0 a 37,8% (0,05 a 1,89 mmol/100 g), com médias de 16,3% (0,81 mmol/100 g) para os PVA, 23,5% (1,17 mmol/100 g) para os LVA, 4,7% (0,24 mmol/100 g) para os terciários, 21,5% (1,06

QUADRO 1. Capacidade de fixação de fosfato em solos do Estado do Rio de Janeiro

Solos			P fixado	
Grupos	Nº	Local	mmol/100g	% do aplicado
PVA	1	Natividade	0,93	18,5
	2	B.J. Itabapoana	0,67	13,4
	3	Sto. Eduardo	0,15	3,0
	4	Miracema	1,00	20,2
	5	Itaocara	0,40	8,1
	6	Valença	0,92	18,5
	7	Paraíba do Sul	0,96	19,2
	8	Paraíba do Sul	1,07	21,4
	9	Itaguaí	0,74	14,8
PVR-L	10	Paraíba do Sul	1,31	26,3
LVA	11	Natividade	1,76	35,3
	12	Porciúncula	0,96	19,4
	13	Italva	0,36	7,2
	14	Miracema	1,17	23,5
	15	Cantagalo	0,92	18,4
	16	Bom Jardim	0,77	15,5
	17	Valença	1,06	21,3
	18	Pirajá	1,88	37,7
	19	Magé	1,67	33,5
Terciário	20	Campos		
	21	"	0,33	6,7
	22	"	0,28	5,6
	23	"	0,10	2,0
	24	"	0,05	1,0
	25	"	0,10	2,0
	26	"	0,27	5,6
	27	"	0,15	3,0
	28	"	0,56	11,1
	29	"	0,28	5,5
AL	30	Natividade	1,24	24,9
	31	Natividade	0,91	18,4
	32	Porciúncula	0,59	12,0
	33	Italva	1,08	21,8
	34	Itaocara	1,89	37,8
GS	35	Porciúncula	1,56	31,2
	36	Padua	1,39	28,0
	37	Itaocara	0,63	12,6
PLANOSSOLO	38	Natividade	0,35	7,0
BRUNIZEN	39	B.J. Itabapoana	0,33	6,6
	40	Cantagalo	0,83	16,6

mmol/100 g) para os Hidromórficos e Aluviais e 11,6% (0,58 mmol/100 g) para os Brunizens. Como pode ser observado, o grupo com maior capacidade de fixação foi o dos LVA. Os Hidromórficos e Aluviais e PVA ficaram como grupos intermediários.

Muitos autores, estudando a capacidade de fixação de fosfato, a têm associado a valores encontrados de matéria orgânica, argila, ferro, alumínio e pH. Os resultados do estudo do P fixado com estes fatores são apresentados em seguida.

Carbono x fixação de fosfato. O papel da matéria orgânica na fixação de fosfato é salientado por alguns autores (Fassbender, 1969; Leale e Velloso 1973). Para o conjunto dos solos estudados (Quadro 2), encontrou-se correlação significativa ao nível de 1% ($r = 0,603$). Quanto a grupos de solos isolados, ela foi muito mais elevada no caso dos LVA, com $r = 0,903$, e não significativa para os Hidromórficos e Aluviais ($r = 0,201$).

A matéria orgânica, segundo Rennie e McKercher (1959), parece ser tão importante quanto a argila no estabelecimento da capacidade de adsorção de fosfatos pelos solos. Fassbender (1966) encontrou valores mais elevados de constantes de energia de retenção de fosfatos (K) para solos de maior teor de matéria orgânica, embora a relevância destas constantes seja questionável para estudos de adsorção de P em solos.

Argila x fixação de fosfato. Os coeficientes de correlação apresentados no Quadro 2 indicam uma associação significativa entre o conteúdo de argila e a fixação de fosfato, sendo maior para o grupo dos Podzólicos. Estes valores divergem dos encontrados por Fassbender (1969) que, trabalhando com 107 solos da América Central,

não encontrou nenhuma associação entre teor de argila e fósforo fixado. No entanto, tal associação está de acordo com a maioria dos trabalhos relacionados com o assunto, que mostram ser a adsorção de fosfato estreitamente relacionada com o teor de argila dos solos. Sá et al. (1968) constataram que os solos de textura argilosa de Pernambuco apresentaram adsorção máxima de fosfato superior aos de textura arenosa. Estes autores, usando o equivalente de umidade como uma expressão do fenômeno de superfície dos solos, demonstraram existir correlação estatística entre aquela constante de umidade e a adsorção de fosfato dos solos. Leal e Velloso (1973), trabalhando com nove Latossolos sob vegetação de cerrado, encontraram correlação linear altamente significativa entre adsorção máxima de fosfato e teor de argila dos solos.

pH x fixação de fosfato. Considerando todos os solos, o coeficiente de correlação encontrado foi de 0,423, indicando uma associação significativa ao nível de 1,0% entre pH e P fixado. Coeficientes mais elevados foram encontrados quando se analisou por grupo de solo, com exceção para os Hidromórficos e Aluviais, que não apresentaram correlação significativa. Observou-se que o pH em KCl se correlaciona melhor com o fosfato fixado que o pH em água.

Ferro e alumínio totais x fixação de fosfato. De acordo com os coeficientes de correlação encontrados, os conteúdos de ferro e alumínio totais se associam bem com o fosfato fixado. Para o conjunto dos solos estudados encontraram-se coeficientes de correlação de 0,828 e 0,791, respectivamente, para ferro e alumínio. Para o grupo que representa os Podzólicos, maiores valores de r foram encontrados. Apenas o grupo dos Hidromórficos e Aluviais apre

QUADRO 2. Coeficientes de correlação linear entre % de P fixado e algumas variáveis dos solos em estudo

Variáveis	Coeficientes de correlação nos diferentes grupos de solos				
	Todos	P.V.A.	L.V.A.	terciários	Hidromórficos e Aluviais -
Matéria orgânica	0,603**	0,542	0,903**	0,551	0,201
Eq. umidade	0,806**	0,841**	0,760**	0,719*	0,525
Argila	0,804**	0,964**	0,787**	0,690**	0,597
Fe ₂ O ₃	0,838**	0,903**	0,745*	0,716*	0,669*
Al ₂ O ₃	0,751**	0,950**	0,699*	0,739**	0,406
pH (H ₂ O)	-0,361*	-0,744**	-0,827**	0,747**	-0,089
pH (KCl)	-0,423**	-0,794**	-0,839**	0,742**	-0,243

senta valores de r inferiores, porém, a correlação ainda foi adequada para ferro e não significativa para alumínio. Os maiores índices de correlação obtidos com o ferro talvez possam ser explicados pelo fato do alumínio total englobar aquele alumínio que normalmente é constituinte das argilas.

4.2. Resposta das plantas e suas relações com os métodos de extração.

Produção de matéria seca da parte aérea das plantas e rendimento relativo. As maiores produções de matéria seca da parte aérea das plantas (Quadro 3) foram obtidas, nos diferentes solos, com o tratamento que recebeu fósforo, evidenciando grande deficiência desse elemento na maioria dos solos, revelada pela resposta das plantas de sorgo à aplicação de fósforo no experimento de vasos. O aumento de produção foi, em média, de 406%.

A produção de matéria seca no tratamento que não recebeu fósforo foi, em média, 2,66 g/pote e variou com os solos de 0,29 a 14,75 g; com a aplicação de fósforo, a média foi 13,46 g/pote e a variação de 3,43 a 18,98 g. O rendimento relativo (Quadro 3) variou de 1,9 a 106,3, com média de 19,5. Quando comparados estes valores com resultados anteriores obtidos em experimentos do campo, realizados em 15 dos solos estudados (Quadro 4), verificou-se que as respostas à aplicação do fósforo, medidas pela produção relativa, são bem mais acentuadas nas condições de casa de vegetação do que no campo. Tal constatação sugere estudos para explicar as causas verdadeiras desta variação, de modo a se poder minimizá-la e, conseqüentemente, diminuir os efeitos negativos da extrapolação de resultados de experimentos de vaso para campo.

Quadro 3. Resultados do experimento de casa de vegetação, fósforo total e fósforo extraído pelos diferentes métodos

Solos		Peso seco (g/pote)		Rend.	P.absorv.	P extraído (ppm)				
Grupos	Nº	S/P	C/P	Relativo	(mg/pote)	P-TOTAL	N.C.	Bray-1	Olsen	Resina
PVA	01	1,38	15,18	9,1	1,15	340	2,8	1,6	3,2	4,8
	02	0,72	17,26	4,2	0,47	324	2,6	2,6	2,2	6,5
	03	4,92	16,68	29,5	5,68	202	7,9	7,1	6,8	17,1
	04	3,67	15,39	23,0	4,20	541	6,7	3,0	3,9	10,7
	05	1,41	14,60	9,6	1,37	196	2,6	2,1	4,9	4,7
	06	0,37	15,34	2,4	0,19	210	2,4	1,6	1,6	4,6
	07	0,36	15,25	2,4	0,17	273	2,1	0,8	1,2	5,9
	08	4,37	16,74	26,1	4,84	331	4,9	5,0	5,8	12,1
	09	0,90	17,25	5,2	0,72	209	3,1	3,1	3,1	8,2
PVA-L	10	1,74	13,15	13,2	2,42	430	7,2	2,0	2,4	12,8
LVA	11	0,37	13,45	2,7	0,21	392	3,4	1,5	2,4	5,3
	12	0,29	15,38	1,9	0,16	271	2,7	0,8	2,1	4,8
	13	1,43	13,67	10,5	1,35	195	2,7	2,8	3,1	4,8
	14	0,62	15,49	4,0	0,42	438	2,2	2,8	2,8	4,3
	15	1,69	14,86	11,4	1,49	196	3,9	3,7	4,7	6,5
	16	0,72	16,04	4,5	0,65	250	2,2	3,0	3,2	6,4
	17	5,66	15,55	36,4	6,69	444	4,5	4,7	5,7	9,6
	18	0,50	10,40	4,8	0,32	348	3,0	1,4	1,1	9,1
	17	0,64	15,70	4,1	0,67	386	4,3	2,3	1,0	7,8
Terciária	20	12,72	11,97	106,3	62,58	054	528,8	264,8	174,8	386,0
	21	5,21	12,92	40,3	8,16	180	13,5	15,7	13,5	14,4
	22	0,55	12,84	4,3	0,29	138	5,8	4,8	1,8	5,9
	23	5,34	14,25	37,5	5,76	141	29,5	14,5	10,0	9,7
	24	0,72	11,80	6,1	0,56	110	5,0	2,5	2,2	4,6
	25	0,41	12,66	3,2	0,19	127	3,4	2,5	1,6	4,6
	26	11,90	14,48	82,2	19,19	451	22,6	19,8	16,1	34,6
	27	1,34	13,88	9,6	1,04	198	3,0	3,3	4,1	5,8
	28	0,37	12,16	3,0	0,61	127	4,1	3,2	2,1	4,2
	29	1,14	4,22	27,0	1,44	145	13,5	12,1	11,3	6,5
AL	30	0,34	5,56	6,1	0,24	326	5,4	1,1	8,5	3,0
	31	0,50	16,15	3,1	0,36	362	2,0	1,6	1,3	3,6
	32	3,04	16,49	18,4	2,89	442	5,1	3,2	6,3	7,9
	33	0,71	8,56	8,3	0,60	273	2,8	1,4	3,6	2,8
	34	7,87	15,83	49,7	10,43	887	8,2	4,4	11,1	16,1
GS	35	0,50	3,43	14,6	0,41	368	5,9	1,9	9,4	6,3
	36	1,88	0,28	22,7	2,76	461	13,7	4,4	22,2	11,8
	37	4,77	18,98	25,1	6,32	446	7,5	2,9	8,6	10,6
PLANOSSOLO	38	0,31	10,23	3,0	0,18	133	2,9	3,2	2,4	2,2
BRUNIZEN	39	14,75	14,67	100,5	27,56	895	51,7	47,1	61,0	81,2
	40	0,42	11,86	3,5	0,30	270	1,7	2,1	1,9	2,9

QUADRO 4. Rendimentos relativos anteriormente obtidos em experimentos de campo, envolvendo 15 dos 40 solos estudados

Planta teste	Solos			(ppm)	P Testemunha kg/h a	Produção Rendimento relativo
	Nº	Local	Classificação			
Milho	1	Natividade	PVA	3,1	3.375	68
	2	B. Jesus	PVR	4,2	4.000	68
	3	St Eduardo	PVA	4,2	2.347	30
	4	Miracema	PVA	4,7	4.930	76
	7	P. do Sul	PVA	2,0	2.611	41
	8	P. do Sul	PVA	4,8	5,280	81
	13	Itaíva	LVA	2,5	4.750	76
	14	Cantagalo	LVA	2,0	3.069	50
	17	Valença	LVA	2,0	2.903	44
	32	Porciúncula	AL	5,1	7.951	79
Arroz	30	Natividade	AL	1,0	3.851	100
	33	Itaíva	AL	3,0	3.883	91
	35	Porciúncula	Gs	5,9	5.167	118
	36	Pádua	GS	3,0	4.867	77
Soja	19	Magé I	LVA	0	694	42

Fósforo absorvido pelas plantas. A quantidade total do fósforo absorvido (Quadro 3) foi determinada na matéria seca da parte aérea das plantas, visando conhecer a associação existente entre esse P-absorvido e os teores de P extraídos pelos diferentes métodos utilizados. No experimento, o fósforo total da parte aérea variou de 0,16 a 62,58 mg/pote.

Relações entre o rendimento relativo da matéria seca e o P determinado pelos diferentes métodos. Pelos coeficientes obtidos (Quadro 5) observou-se que, quando considerados todos os solos, houve estreita correlação entre o fósforo extraído pelos métodos empregados e o rendimento relativo. O fósforo total do solo também se correlacionou significativamente com o rendimento relativo, apesar de ser seu coeficiente bastante inferior aos encontrados pelos extratores, que foram semelhantes. Quando se separaram os solos por grupos, de acordo com a classificação, observou-se que houve uma variação nas associações. Para o grupo dos PVA os quatro extratores foram eficientes para avaliar o fósforo, no entanto, para o fósforo total, não houve correlação significativa. Já para os Latossolos, apenas os extratores de Olsen e Bray-1 foram eficientes, pois com os demais não houve correlações significativas. No grupo dos terciários todos os extratores se correlacionaram bem, variando o valor de r de 0,743 a 0,905 para Carolina do Norte e P Total respectivamente. Para os Hidromórficos e Aluviais a melhor correlação foi obtida para a resina, seguida de P total e Bray-1; os métodos de Carolina do Norte e Olsen foram ineficientes para predizer o fósforo disponível para este grupo de solo.

Relação entre o P determinado pelos diferentes métodos e fósforo absorvido pelas plantas. Considerando-se os 40 solos, os valores dos coeficientes de correlação (Quadro 6) indicam que os métodos utilizados são eficientes na avaliação da disponibilidade de fósforo. Os métodos Olsen e resina apresentaram os mais altos coeficientes (0,959 e 0,945), enquanto os encontrados para Bray-1 e Carolina do Norte foram 0,934 e 0,907, respectivamente. A correlação do P absorvido com o fósforo total, apesar de ser significativa, apresentou coeficiente bem mais baixo, 0,666, conforme ocorreu com a produção de matéria seca, analisada através do rendimento relativo. Quando se considerou o agrupamento dos solos segundo a classificação, verificou-se uma variação nas associações obtidas entre o fósforo extraído pelos diferentes métodos e o fósforo absorvido pelas plantas. Para o grupo dos Podzóicos, os métodos se comportaram de maneira semelhante, com ligeira superioridade dos coeficientes obtidos para Olsen e resina. Para os Latossolos, apenas os teores de P extraídos pelos métodos de Bray-1 e Olsen se correlacionaram de maneira altamente significativa: $r = 0,783$ e $0,777$. Já para os solos derivados de sedimentos do terciário os coeficientes foram semelhantes e bastante elevados, não permitindo por este dado nenhuma diferenciação da capacidade dos métodos utilizados para prever o fósforo que a planta retira do solo. O índice obtido com o fósforo total foi o mais elevado. O método da resina destacou-se dos demais no Grupo dos Hidromórficos e Aluviais com $r = 0,903$, seguido pelos métodos do fósforo total e Bray-1, com $r = 0,890$ e $r = 0,676$, respectivamente. Dos métodos utilizados, o de Bray-1 foi o único que correlacionou significativamente em todas as si-

QUADRO 5. Coeficiente de correlação entre rendimento relativo e P extraído pelos diferentes métodos utilizados nos 40 solos estudados.

Variáveis	P-total	N.C.	Bray-l	Olsen	Resina
40 solos	0,693**	0,626**	0,680**	0,758**	0,693**
P.V.A.	0,325	0,834**	0,825**	0,849**	0,839**
L.V.A.	0,245	0,586	0,797**	0,797**	0,573
Terciários	0,905**	0,749**	0,771**	0,784**	0,771**
Hidromórficos e Aluviais	0,941**	0,610	0,721*	0,521	0,960**

QUADRO 6. Coeficiente de correlação entre P absorvido e P extraído pelos diferentes métodos utilizados, nos 40 solos estudados

Variáveis	P-total	N.C.	Bray-1	Olsen	Resina
40 solos	0,666**	0,907**	0,934**	0,959**	0,945**
P.V.A.	0,299	0,852**	0,845**	0,840**	0,872**
L.V.A.	0,299	0,595	0,783**	0,777**	0,577
Terciários	0,981**	0,961**	0,968**	0,971**	0,972**
Hidromórficos e Aluviais	0,895**	0.474	0,676*	0,346	0,903**

tuações, apesar de nem sempre ter apresentados OS maiores índices.

A ineficiência do método Carolina do Norte, principalmente para solos de baixada, já havia sido revelada em experimentos de fertilidade realizados no Estado do Rio de Janeiro, em cultura-do-açúcar (Gomes, comunicação pessoal, 1976), arroz (Costa, 1975), milho (Macedo et al. 1972; Almeida et al. 1977) e Soja (Almeida, resultados não publicados, 1973, Almeida et al., 1976). Esta constatação sugere cautela na interpretação de resultados de pesquisa em que o extrator de Carolina do Norte é utilizado para avaliar o fósforo disponível. Seria interessante que se testasse também a extração com a resina trocadora de anion ou Bray-1 e se determinasse o fósforo total. Seriam importantes também pesquisas nestes solos de baixada, visando elucidar as causas das diferenças encontradas entre os métodos.

Analisando-se as médias de extração e os limites de variação de cada método estudado (Quadro 7), observou-se que o método da resina foi o que apresentou maior capacidade de extração.

Relação do fósforo absorvido pela planta com o determinado pelos métodos de extração grupando-se, os solos pelo conteúdo de argila. Pode-se observar pelos coeficientes de correlação (Quadro 8) que, para solos com baixo teor de argila, todos os métodos foram eficientes, pois os "r" foram altos e semelhantes.

O método Carolina do Norte apresentou mais alta correlação nos solos arenosos, e mais baixa para os solos argilosos. Os métodos de Olsen e Bray-1 correlacionaram bem nos três grupos, sendo que para o Bray-1 em solos argilosos, o coeficiente foi um pouco inferior. O fósforo extraído pela resina não se correlacionou bem

QUADRO 7. Características de extração dos métodos utilizados

Grupos de solos		Valores obtidos com os diferentes métodos estudados. (ppm de P)			
		C. Norte	Bray-1	Olsen	Resina
PVA	Limites de variação	2,1-7,9	0,8-7,1	1,2-6,8	4,6-17,1
	Média de extração	4,2	2,9	3,5	8,7
VA	Limites de variação	2,2-4,5	0,8-4,7	1,0-5,7	4,3-9,6
	Média de extração	3,2	2,5	2,9	6,5
Terciário	Limites de variação	3,0-528,8	2,5-264,8	1,6-174,8	4,2-386,0
	Média de extração	61,9	34,3	23,7	47,6
Hidromórficos e Aluviais	Limites de variação	2,0-13,7	1,1-4,4	1,3-22,2	2,2-16,1
	Média de extração	5,9	2,7	8,1	7,1
Brunizem	Limites de variação	1,7-51,7	2,1-47,1	1,9-61,0	2,9-81,2
	Média de extração	26,7	24,6	31,4	42,0
Todos	Limites de variação	1,7-528,8	0,8-264,8	1,0-174,8	2,2-386,0
	Média de extração	19,8	11,7	10,9	19,3

QUADRO 8. Correlação do fósforo absorvido pela planta com o determinado pelos métodos de extração estudados, de acordo com agrupamento dos solos pelo conteúdo de argila.

Conteúdo de argila	Valores de r apresentados pelos diferentes métodos de extração				
	P-Total	N.C.	Bray-1	Olsen	Resina
< 20 %	0,97**	0,99**	0,97**	0,98**	0,99**
20 - 40 %	0,74**	0,77**	0,97**	0,97**	0,97**
> 40 %	0,88	0,90*	0,92**	0,97**	0,88

com o fósforo absorvido pelas plantas nos solos com maior conteúdo de argila; a melhor correlação foi obtida para os solos arenosos. É interessante salientar que o grupo de solos com teor de argila > 40% foi bastante reduzido, tornando a amostragem pouco representativa.

Esta separação conduz a uma diferenciação nos coeficientes de correlação, mostrando que há variação da eficiência do método com o conteúdo de argila. O Carolina do Norte foi o menos eficiente para determinação da disponibilidade de fósforo nos solos de textura média e argilosa. Esta constatação está de acordo com o encontrado por Anghinoni (1972), em solos do Rio Grande do Sul.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, podem ser tiradas as seguintes conclusões:

1. quando os solos foram considerados em conjunto, os métodos utilizados mostraram-se eficientes na avaliação do fósforo disponível para as plantas nos solos testados; apesar dos coeficientes de correlação obtidos não permitirem uma diferenciação perfeita entre os extratores usados, mostraram a seguinte sequência decrescente: Olsen (0,959**), resina (0,945**), Bray-1 (0,934**), N.C. (0,907**) e P-total (0,666**);

2. houve maior diferenciação no comportamento dos extratores quando os solos foram agrupados segundo sua classificação, e uma diminuição na eficiência dos métodos nos solos com maior teor de argila; o método de Bray-1 foi o único que apresentou correlações significativas em todas as situações;

3. o método da resina destacou-se dos demais nos solos Hidromórficos e Aluviais e foi ineficiente para os Latossolos; o de Olsen não apresentou boa correlação para os Hidromórficos e Aluviais; o Carolina do Norte foi ineficiente para os

Latossolos e para os Hidromórficos e Aluviais; o fósforo total correlacionou bom com o P absorvido no grupo dos Hidromórficos e Aluviais e nos solos derivados de sedimentos, do terciário;

4. houve grande variabilidade na capacidade de fixação de fosfatos; considerando todos os solos a fixação variou de 1,0 a 37,8% do fósforo aplicado;

5. houve associações significativas entre a capacidade de fixação de fosfato e algumas características dos solos como matéria orgânica, argila, equivalente de umidade, pH, ferro e alumínio totais;

6. O fósforo constitui importante fator limitante da produtividade agrícola dos solos estudados;

7, o método de Bray-1 deve ser incluído em futuros trabalhos de calibração de métodos em solos do Estado do Rio de Janeiro.

6. RESUMO

Em 40 solos do Estado do Rio de Janeiro (10 Podzólicos Vermelho Amarelo, 9 Latossolos Vermelho Amarelo^A, 10 Podzólicos Vermelho Amarelo Latossólicos de tabuleiro - derivados de sedimentos do terciário, 9 Hidromórficos e Aluviais e dois Bruni - zens) estudou-se a capacidade de fixação de fosfato e avaliou - -se a disponibilidade do fósforo através dos métodos de Carolina do Norte (N.C.), Bray-1, Olsen e resina troca aniônica.

Para determinação da capacidade de fixação de fosfato, em laboratório, amostras de 1 g de solo foram equilibradas com soluções de KH_2PO_4 10^{-3}M e o fosfato fixado foi determinado pela diferença entre as concentrações inicial e final.

Em casa de vegetação foi realizado um experimento para se estabelecerem as relações entre o fósforo extraído pelos métodos e o fósforo absorvido pelas plantas. Usou-se o delineamen to de blocos ao acaso com dois tratamentos e três repetições; os tratamentos foram $\text{PoN}_1\text{K}_1\text{Ca}_1\text{Mg}_1$ e $\text{P}_1\text{N}_1\text{K}_1\text{Ca}_1\text{Mg}_1$, ambos com micro nutrientes.

Considerando todos os solos, a variação na capacidade de retenção foi de 0,05 a 1,89 mmol/100 g de solo, o que corresponde de 1,0 a 37,8% do fósforo aplicado, com médias de 23,5% para os Latossolos Vermelho Amarelo, 21,5% para Hidromórficos e Aluviais, 16,3% para os Podzólicos Vermelho Amarelo, 11,6% para os Brunizos e 4,7% para os Terciários. Os valores de fixação, em porcentagem, foram correlacionados com características químicas e físicas dos solos. Correlações lineares altamente significativas foram obtidas com o conteúdo de argila, equivalente de unidade, matéria orgânica, óxidos de ferro e de alumínio e pH em KCl.

No conjunto de solos, todos os métodos utilizados foram eficientes na avaliação do fósforo para as plantas. Os coeficientes de correlação obtidos entre P absorvido pela planta e fósforo determinado pelos diferentes métodos mostraram a seguinte sequência decrescente: (Olsen (0,959**), resina (0,945**), Bray-1 (0,934**), N.C. (0,907**) e P-total (0,666**).

O agrupamento dos solos de acordo com a classificação causou uma diferenciação no comportamento dos extratores. O método de Bray-1 foi o que apresentou correlações significativas em todas as situações, apesar de nem sempre ter apresentado os maiores índices. O método da resina se destacou com eficiência nos solos Hidromórficos e Aluviais e ineficientemente nos Latossolos, enquanto o de Olsen não foi eficiente apenas para os Hidromórficos e Aluviais. O método de Carolina do Norte não foi eficiente para os Latossolos, Hidromórficos e Aluviais. Na maio-

ria dos casos, a correlação entre fósforo, determinado pelos diferentes métodos, e P absorvido, foi melhor que a obtida com o rendimento relativo.

7. LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, D.L. de; CASTRO, J.A.B. de; PENTEADO, A. de F. & GRANATO, S.S. 1977. Otimização econômica da produção de milho de acordo com as fórmulas de adubação baseadas na análise de solo. Pesq. agropec. bras. 12:1-10
- ALMEIDA, D.L. de; SUHET, A.R.; FRAGA, M.A. da S.; EIRA, P.A. da & De POLLI, H. 1978. Resposta da cultura da soja à adubação fosfatada e à calagem em quatro solos dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. Revista bras. Ci. sd o 2: 196-200
- AMER, F., BOULDIN, D.R., BLACK, C.A. & DUKE, F.R. 1955. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption and P^{32} equilibrium. Plant and soil 6:391-408.
- ANCHINONI, I. 1972. Relação do fósforo com as características dos solos do Rio Grande do Sul e avaliação de sua disponibilidade através de métodos químicos. Tese (M.S.). Fac. Agron., UFRGS, Porto Alegre, 108 f.
- ANCHINONI, I. & BOHNEN, H. 1974. Avaliação da disponibilidade do fósforo para os solos do Rio Grande do Sul. Agron. Sulriogr. Porto Alegre 10(1):127-136.

- BACHE, B.W. 1964. Aluminum and iron phosphate studies relating to soils. II. Reactions between phosphate and hydrous oxides. J. Soil Sci. 15:110-116.
- BAILEY, J.M. 1967. Chemical changes in a Sarawak soil after fertilization and crop growth. Plant and Soil 27:33-52.
- BALERDI, F., MÜLLER, L. & FASSBENDER, H.W. 1968. Estudio del fósforo en suelos de America Central. III Comparacion de cinco métodos químicos de analisis de fósforo disponible. Turrialba 18 (4):348-360.
- BECKETT, P.H.T. & WHITE, E.E. 1964. Studies on the phosphata potentials of soils. Part. III: The pool of labile inorganic phosphate. Plant and soil, 21(3):253-282.
- BINGHAM, F.T. 1949. Soil Test for phosphate. California Agriculture 3,(8):11-14.
- BINGHAM, F.T. 1962. Chemical soil test for available phosphorus. Soil Sci. 94:87-95.
- BISHOP, W.D. & BARBER, S.A. 1958. The effect of soil phosphorus compounds on soil test correlations. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22:435-439.
- BLENKISOP, A. 1938. Soil studies for advisory purposes. (Citado por Magalhães, 1969).
- BRAY, R.H. & KURTZ, L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59:39 - 45.
- BURD, J.S. & MURPHY, H.F. 1939. The use of chemical data in the prognosis of phosphate deficiency in soils. Hilgardia 12:323-340.

- CABALA, R.F.P. 1975. O fósforo no solo e sua disponibilidade. Curso de fertilidade do solo e adubação - CEPEC, Itabuna - Bahia (mimeo.).
- CABALA, R.E.P. & FASSBENDER, H.W. 1971. Efecto del encalado en las formas y disponibilidad de fosfatos em suelos de la region cacaotallera de Bahia - Brasil. Turrialba 21(1):39-46.
- CABALA, R.F.P. & SANTANA, M.B.M. 1972. Comparação de extratores químicos de fósforo em solos do Sul da Bahia. Turrialba 22(1):19-26.
- CHANG, S.C. & LIAW, F.H. 1962. Separation of aluminum phosphate from iron phosphate in soils. Science 136:386.
- CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. 1957. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. 84:133-144.
- COOKE, I.J. & HISLOP, J. 1963. Use of anion-exchange resin for assessment of available soil phosphate. Soil Sci. 96:308-312.
- COSTA, W.F. do. 1975. Documento básico da pesquisa em arroz conduzida no IPEACS. Apresentado na reunião para elaboração dos sistemas de produção para arroz em varzeas úmidas. Rio de Janeiro. 48 p.
- CRISANTO, T. & SUTTON, C.D. 1973. Measurement of available phosphate content of some spanish soils. Plant and Soil 39:399-412.
- DAVIS, L.C. 1935. Sorption of phosphate by non calcareous Hawaiian soils. Soil Sci. 40:123-158.
- DU PLESSIS, S.F. & BURGER, R.D. 1966. The availability of different phosphate fractions. S. Afr. J. Agric. Sci. 9:331-340.

- ENWEZOR, W.O. 1977. Soil testing for phosphorus in some Nigerian soils: 1. Comparison of methods of determining available phosphorus in soils of southeastern Nigeria. Soil Sci. 123:48-53.
- FASSBENDER, H.W. 1966. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evolución usando la isoterma de Langmuir. Fitotecnia Latinoamericana. 3(1,2):203-216
- FASSBENDER, H.W. 1969. Estudio del fósforo en suelos de América Central. IV. Capacidad de fijación de fósforo y su relación con características edáficas. Turrialba 18(4) 497-505.
- FASSBENDER, H.W., MULLER, L. & BALERDI, F. 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central, II. Formas y su relación con las plantas. Turrialba 18(4):333-347.
- FEITOSA, C.T. & VAN RAIJ, B. 1975. Influência da natureza de fosfatos aplicados a dois solos no fósforo solúvel em extractores químicos e disponíveis para o trigo e milho. In: Anais Congr. bras. cienc. solo, XV, Campinas, SP.
- FONSECA, R., DIAS, R.C., PINHO, A., PIRES, E., MIRANDA, E., CABALLA, R.F.P. & SANTANA C. 1968. Correlações dos teores de fósforo nos solos com respostas de microparcels de milho na zona cacauzeira da Bahia. Pesq. agropec. bras. 3:235-242.
- GALRÃO, E.Z. 1976. Avaliação da disponibilidade de fósforo para as plantas. Porto Alegre, UFRGS. Tese (MS-Solos). Faculdade de Agronomia.
- HEMWALL, J.B. 1957. The fixation of phosphorus by soils. Advances in Agronomy 9:95-112.

- HISLOP, J. & COOKE, I.J. 1968. Anion exchange resin as a means of assessing soil phosphate status: A laboratory technique. Soil Sci. 105:8-11.
- HSU, P.H. 1964. Adsorption of phosphate by aluminum and iron in acidic soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28:474-478.
- JACKSON, M.L. 1958. Soil chemical analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 498 p.
- JUO, A.S.R. & ELLIS, B.G. 1968. Chemical and physical properties of iron and aluminum phosphates and their relation to phosphorus availability. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32:216-221.
- KINJO, T. 1970. Nitrate adsorption by acid soils of tropical regions. A Dissertation. University of California, Riverside.
- KURTZ, T., De TURK, E.E. & BRAY, R.H. 1946. Phosphate adsorption by Illinois soils. Soil Sci. 61:111-124.
- LARSEN, S. 1952. The use of p^{32} in studies on the uptake of phosphorus by plants. Plant Soil. 4:1-10.
- LARSEN, S. 1967. Soil phosphorus. Advances in Agronomy. 19:151-209.
- LEAL, J.R. 1971. Adsorção de fosfato em latossolos sob cerrado. Tese (MS-Solos) apresentada à Escola de Pós-Graduação da Universidade Rural do Rio de Janeiro. 96 f.
- LEAL, J.R. & VELLOSO, A.C.X. 1973. Adsorção de fosfato em latossolos sob vegetação de cerrado. Pesq. agropec. bras. Sér. 8:81-88.
- LOW, P.F. & BLACK, C.A. 1950. Reactions of phosphate with kaolinite. Soil Sci. 70:275-290.

- LINDSAY, W.L. & STEPHENSON, H.F. 1959a. Nature of the reactions of monocalcium phosphate monohydrate in soils: I. The solution that reacts with the soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23: 12-18.
- LINDSAY, W.L. & STEPHENSON, H.F. 1959b. Nature of the reactions of monocalcium phosphate monohydrate in soils. II. Dissolution and precipitation reactions involving iron, aluminum, manganese and calcium. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23:18-22.
- LINDSAY, W.L. & MORENO, E.C. 1960. Phosphate phase equilibria in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24:177-182.
- MACEDO, P.T. de, ALMEIDA, D.L. de & EIRA, P.A. da. 1972. Adubação mineral de milho no Estado do Rio de Janeiro no ano agrícola de 1971-72. In: Anais Reun. bras. milho, 9^a, Recife, PE. p. 90-96.
- MAGALHÃES, A.F. 1969. Phosphorus sorption by California Coastal soils as related to P extracted with Olsen and Bray reagents, P absorption by and growth of tomato plants. A Thesis University of California, Riverside. 74 f.
- Mc AULIFFE, C.D., HALL, N.S., DEAN, L.A. & HENDRICKS, S.B. 1948. Exchange reactions between phosphates and soils: Hydroxylic surfaces of soils minerals. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 12:119-123.
- MIELNICZUK, J., LUDWICH, A. & BOHNEN, H. 1969. Correlação entre métodos de análises de solos. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia. (mimeo.).

- MILLER, S.L. & PARRIS, M. 1964. Nature 204:1248-1250. (Citado Por Larsen, 1967).
- MORILLO, M.R. & FASSBENDER, H.W. 1968. Forms and availability of phosphates in soils of the lower basin of the Choluteca River, Honduras. Turrialba 18:26-33.
- MOSER, M.S., SUTHERLAND, W.H. & BLACK, C.A. 1959. Evaluation of laboratory indexes of absorption of soil phosphorus by plants. 1. Plant and Soil, 10:356-374.
- MUJALDI, D., POSNER, A.M. & QUIRK, J.P. 1966a. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gipsite and pseudoboehmite. I. The isotherms and the effect of pH on adsorption. J. Soil Sci. 17:212-229.
- NELSON, W.L., MEHLICH, A. & WINTERS, E. 1953. The development, evaluation and use of soil tests for phosphorus availability, In: Pierre, W.H. & Norman, A.G. (eds.) Soil and fertilizer phosphorus. Agronomy, 4:153-188.
- OKO, B.F.D. & AGBOOLA, A.A. 1974. Comparison of different phosphorus extractants in soils of western state of Nigeria. Agron. J. 66:689-642.
- OLSEN, S.R., COLE, C.V., WATANABE, F.S. & DEAN, C.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939.
- OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. Soil Sci. Soc. Amer Proc. 21:144-149.

- ORTEGA, E. 1963. Correlacion entre los métodos de análisis químicas del fósforo aprovechable por las plantas y los rendimientos relativos del maiz. Agricultura Técnica en México 2: 148-171.
- PAAUW, F. VAN DER. 1971. An effective water extraction method for the determination of plant available soil phosphorus. Plant and Soil. 34:467-481.
- PALMA, G. & FASSBENDER, H.W. 1970. Estudio del fósforo en suelos de América Central. V. Uso de resinas de intercambio para evaluar la disponibilidad de P. Turrialba 20(3):279-287.
- PRATT, P.F. 1966. Química do solo. Rio de Janeiro, M.A./USAID, (1) 88 p. (mimeo.).
- RENNIE, D.A. & MCKERCHER, 1959. Adsorption of phosphorus by four Saskatchewan soils. Canad. J. Soil Sci. 39:64-75.
- ROEDER, M. & BORNEMISZA, E. 1968. Algunas propiedades de suelos de la region Amazônica del Estado do Maranhão. Brasil. Turrialba 18(1):39-44.
- ROGERS, H.T., PEARSON, R.W. & PIERRE, W.H. 1940. Absortion of organic phosphorus by corn and tomate plants and the mineralizing action of exoenzyme systems of growing roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 5:285-291.
- RUSSEL, G.C. & LOW, P.F. 1954. Reaction of phosphate with kaolinite in dilute solution. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18:22-25.

- RUSSEL, R.S., RICKSON, J.B. & ADAMS, S.N. 1954. Isotopic equilibria between phosphates in soil and their significance in assessment of fertility by tracer methods. J. Soil Sci. 5:85-105.
- RUSSEL, J.E. & RUSSEL, W.E. 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. Trad. de 1ª a 9ª ed. ingles por Gaspar Gonzales y Gonzales. Madrid, Aguilar, 1968. 801 p.
- SÁ JUNIOR, J.P.M., GOMES, I.F. & VASCONCELLOS, A. 1960. Retenção de fósforo em solos da Zona da Mata de Pernambuco. Pesq. agropec. bras. Sér. Agron., 3:183-188.
- SÁ JUNIOR, J.P.M., ARAÚJO, S.M.C. de, GALVÃO, S.J., VASCONCELLOS, A.L. de & OLIVEIRA, E.S.C. de. 1974. Avaliação de métodos de análise química para fósforo disponível em solos da "zona litoral-mata" de Pernambuco. Pesq. agropec. bras. Sér. Agron. 9: 27-33.
- SAUNDER, D.H. & METERLERKAMP, H.R. 1962. Use of an anion exchange resin for determination of available soil phosphorus. Int. Soc. Soil Sci. Transactions of Joint Meeting. Commissions IV and V, New Zealand, p. 847-849.
- SCHOFIELD, R.K. 1955. Can a precise meaning be given to available soil phosphorus. Soil Fert. 18:373-375.
- SIBBESEN, E. 1977. A simple ion-exchange resin procedure extracting plant available elements from soil. Plant Soil 46:665-669.
- SINGH, R.H., MARTENS, D.C. & OBENSHAIN, S.S. 1966. Plant availability and form of residual. phosphorus in Davidson Clay loam. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30:617-620.

- SISSINGH, H.A. 1971. Analitical technique of the PW method, used for the assessment of the phosphate status of arabe soils in the Netherlands. *Plant Soil* 34:483-485.
- SUEHISA, R.H., YOUNGE, O.R. & SHERMAN, G.D. 1963. Effects of silicates on phosphorus availability to sudan grass grown on Hawaiian soils. *Tech. Bul. Hawaii Agric. Exp. Station.* 51:1-40.
- SUTTON, C.D. & LARSEN, S. 1964. Pyrophosphate as a source of phosphorus fur plants. *Soil Sci.* 97:196-201.
- SUZUKI, A.K. LAWTON & DOLL, E.C. 1963. Phosphorus uptake and soil tests as related to forms of phosphorus in some Michigan soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 27:401-403.
- VAJRAGUPTA, Y., HALEY, L.E. & MELSTED, S.W. 1963. Correlation of phosphorus soil test values with rice yields in Thailand. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 27:395-397.
- VANDEBERG, T. 1968. Evaluation of soil extraction methods for predicting "Plant available" phosphorus. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia. (Citado por Anghinoni & Bohnen, 1974).
- VAN WAZER, J.R. 1958 e 1961. (Citado por Laser, 1967).
- VELLOSO, A.C.X. 1969. Phosphate solubility in andosols and oxisols. A Thesis. University of California, Riverside.
- VETTORI, L. 1969. Métodos de análise de solo. *Bol. Téc.* 7. Equipe Pedol. Fertil. Solo Minist. Agric. 24 p.
- WALMSLEY, D. & CORNFORTH, I.S. 1973. Methods of measuring available nutrients in west Indian soils. II. Phosphorus. *Plant and Soil.* 39:93-101

- WALSH, L.M. & BEATON, J.D. (eds). 1973. Soil testing and plant analysis. 2^a ed. Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin.
- WAUGH, D.L. & FITTS, J.W. 1966. Estudos para interpretação de análise de solo: De laboratório e em vasos. North Carolina State University and International Soil Testing. Boletim Técnico nº 3. 33 p.
- WHITE, R.F. & HAYDOCK, K.P. 1967. A n evaluation of the phosphate potential, Truog, Olsen and Morgan methods for measuring the availability of soil phosphate. Aust. J. Soil. Res. 5: 215-224.
- WILLIAMS, E.G. 1951. Effects of acid treatment of soil on phosphate availability and solubility. J. Soil Sci. 2:110-117.
- WOODRUFF, J.R. & KAMPRATH, E.J. 1965. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29:148-150.
- ZUNINO, H., AGUILERA, M. & PEIRANO, P. 1972. A modified resin exchange method for measurement of available phosphate in soils derived from volcanic ash. Soil Sci., 114:404-405.

APÊNDICE 1 RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DOS SOLOS EM ESTUDO

Solos			pH		mg/100 gramas de solo								V	MD
Grupos	Nº	Local	H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	T	%	%
PVA	1	Natividade	5,5	4,7	2,11	1,00	0,18	0,03	3,40	0,05	3,66	7,11	47,01	1,54
	2	B.J.do Itabapoana	5,9	4,9	3,30	4,01	0,35	0,04	7,70	0,00	3,02	10,72	71,03	2,23
	3	Stº Eduardo	6,0	5,2	1,51	1,51	0,43	0,03	3,48	0,00	2,08	5,56	62,59	0,09
	4	Miracema	6,0	5,1	3,47	1,92	0,46	0,03	5,00	0,00	3,09	9,77	60,10	1,93
	5	Itaocara	6,1	5,3	2,62	1,21	0,98	0,03	4,04	0,00	2,12	6,96	69,54	1,41
	6	Valença	5,7	4,7	2,92	2,41	0,16	0,03	5,52	0,05	4,61	10,18	54,22	2,49
	7	P. do Sul	5,3	4,3	1,06	0,50	0,13	0,02	1,71	0,30	3,79	5,00	29,48	1,25
	8	P. do Sul	5,6	4,6	3,10	1,88	0,26	0,03	5,27	0,05	4,70	10,02	52,59	2,74
	9	Itaguaí	5,8	4,8	3,17	2,10	0,22	0,04	5,53	0,00	3,37	8,90	62,13	1,90
PVA-L	10	P. do Sul	5,2	4,1	0,81	0,66	0,17	0,02	1,66	0,61	5,22	7,49	22,16	1,83
LVA	11	Natividade	5,0	4,0	0,74	0,63	0,20	0,02	1,59	1,00	8,17	10,76	14,78	3,06
	12	Porciúncula	5,1	4,2	0,92	1,18	0,13	0,02	2,25	0,36	4,39	7,00	32,14	1,90
	13	Italva	5,9	5,2	3,18	1,59	0,21	0,01	4,99	0,05	2,62	7,66	65,14	1,64
	14	Miracema	5,7	4,8	2,40	0,78	0,09	0,01	3,28	0,10	3,94	7,32	44,01	2,26
	15	Cantagalo	5,5	4,3	2,04	1,02	0,09	0,02	3,17	0,20	4,20	7,57	41,87	1,90
	16	Bom Jardim	5,6	4,5	1,75	0,83	0,20	0,01	2,79	0,10	3,69	6,58	42,40	1,49
	17	Valença	5,4	4,4	2,08	1,66	0,40	0,02	4,16	0,10	5,23	9,49	43,83	2,74
	18	Pirai	4,2	3,4	0,35	0,20	0,16	0,03	0,74	2,74	11,93	15,41	4,80	3,27
	19	Magé	5,1	4,1	1,85	0,77	0,16	0,02	2,80	0,77	7,99	11,56	24,22	3,57
Terciário	20	Campos	5,7	5,3	5,90	1,17	0,33	0,02	7,42	0,05	2,76	10,23	75,53	2,42
	21	"	5,2	4,2	1,74	0,82	0,22	0,01	2,79	0,15	4,23	7,17	38,91	1,59
	22	"	5,6	4,8	2,92	1,28	0,28	0,02	4,50	0,05	3,72	8,27	54,41	1,86
Terciário	23	"	5,2	4,4	1,15	0,60	0,15	0,01	1,91	0,10	2,19	4,20	45,48	0,88
	24	"	5,7	4,7	0,90	0,55	0,10	0,01	1,56	0,00	1,65	3,21	48,30	0,77
	25	"	5,9	4,9	1,52	0,91	0,36	0,02	2,81	0,00	2,17	4,98	56,42	1,67
	26	"	5,4	4,4	2,18	1,37	0,14	0,03	3,72	0,10	4,25	8,07	46,10	1,78
	27	"	5,6	4,6	1,22	0,92	0,09	0,01	2,24	0,05	3,78	6,07	36,90	0,84
	28	"	4,9	4,0	1,31	0,86	0,18	0,01	2,36	0,35	4,61	7,32	32,24	1,67
	29	"	5,3	4,3	0,70	0,25	0,09	0,01	1,05	0,15	2,23	3,43	30,61	0,88
AL	30	Natividade	5,3	4,3	2,17	1,66	0,09	0,01	3,93	0,31	4,27	8,51	46,18	1,18
	31	"	5,7	4,8	2,60	2,25	0,30	0,01	5,16	0,05	3,62	8,83	58,44	1,90
	32	Porciúncula	5,9	4,9	3,07	2,03	0,34	0,03	5,47	0,00	3,85	9,32	50,69	2,15
	33	Italva	5,9	4,8	2,23	1,92	0,20	0,04	4,39	0,00	3,01	7,40	59,32	0,99
	34	Itaocara	5,8	4,7	9,87	5,88	0,44	0,14	16,33	0,00	6,41	22,74	71,01	3,34
GS	35	Porciúncula	5,8	4,5	3,37	2,04	0,18	0,17	5,76	0,05	4,34	10,15	56,75	1,43
	36	Pádua	5,5	4,4	2,55	1,17	0,18	0,10	4,00	0,10	4,36	8,46	47,28	1,11
	37	Itaocara	6,2	5,6	6,41	6,25	1,05	0,19	13,90	0,00	3,04	16,94	82,05	3,26
PLANOSSOLO	38	Natividade	5,4	4,2	0,65	0,65	0,12	0,05	1,47	0,10	1,91	3,40	42,24	0,57
D. PARDO	39	B.J.Itabapoana	6,2	5,2	3,47	2,00	0,90	0,02	7,19	0,00	3,07	10,26	70,00	1,85
B.AVARELIS	40	Cantagalo	6,0	5,1	3,74	2,08	0,14	0,02	5,98	0,00	3,68	9,06	66,00	2,31

APÊNDICE 2 ALGUMAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS ESTUDADOS

Solos			Equiv.	Argila	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Grupos	Nº	Local	umidade %	%	%	%	%
PVA	1	Natividade	19,13	33,6	7,16	13,01	12,47
	2	B.J.Itabapoana	20,33	25,2	4,02	12,39	12,20
	3	Stº Eduardo	8,55	13,3	1,41	5,29	5,91
	4	Miracema	20,94	31,8	6,84	12,50	12,42
	5	Itaocara	11,80	17,1	2,67	8,34	7,20
	6	Valença	19,66	32,7	4,72	13,32	12,17
	7	Paraíba do Sul	16,56	29,0	5,20	10,33	13,64
	8	Paraíba do Sul	21,76	33,2	5,19	14,60	12,40
	9	Itaguaí	18,06	24,3	3,73	11,68	10,82
PVA-L	10	Paraíba do Sul	19,63	35,8	7,19	13,97	15,62
LVA	11	Natividade	25,02	48,8	6,95	16,53	18,27
	12	Porciúncula	20,21	35,0	5,17	14,34	14,36
	13	Italva	14,66	29,7	3,90	12,45	11,77
	14	Miracema	20,87	31,1	6,63	13,25	13,57
	15	Castagalo	26,30	34,8	1,94	21,06	18,99
	16	Bom Jardim	15,34	23,0	3,81	9,44	11,82
	17	Valença	25,08	49,2	8,21	20,66	18,42
	18	Pirai	26,40	51,6	8,45	16,49	17,93
	19	Magé	29,72	45,0	9,12	15,42	19,97
Terciário	20	Campos	13,07	20,0	2,34	9,14	9,46
	21	"	14,27	29,4	2,31	11,67	11,52
	22	"	11,49	21,1	1,79	7,76	8,89
	23	"	7,92	13,7	1,36	4,66	5,76
	24	"	5,58	9,9	1,20	3,32	4,59
	25	"	7,88	11,7	1,42	5,37	6,12
	26	"	13,50	31,1	2,73	12,30	11,62
	27	"	8,32	16,4	1,68	6,96	7,79
	28	"	12,32	24,1	2,33	9,74	10,35
	29	"	7,06	13,8	1,00	6,09	6,14
AL	30	Natividade	17,16	25,7	4,30	11,79	9,51
	31	"	25,10	38,8	6,48	20,29	18,07
	32	Porciúncula	24,44	34,7	4,26	17,79	16,96
	33	Italva	20,96	30,0	5,32	13,71	12,93
	34	Itaocara	40,83	58,7	10,79	29,30	24,48
GS	35	Porciúncula	24,19	28,5	5,06	15,26	11,61
	36	Pádua	21,70	22,9	4,13	15,78	10,52
	37	Itaocara	32,12	29,3	5,78	20,88	16,48
PLANOSSOLO	38	Natividade	8,80	7,1	1,41	5,00	3,85
D. BANDO	39	B.J.Itabapoana	14,05	13,6	3,72	7,66	5,33
B. AVENHOLADO	40	Castagalo	21,08	27,1	7,95	11,93	11,14