EXTRAÇÃO DO FÓSFORO SOLÚVEL, ORGÂNICO E TOTAL
EM SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO POR DIVERSOS
MÉTODOS QUÍMICOS, E DISPONIBILIDADE DESTE ELE-
MENTO UTILIZANDO O FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*, L.)
E MILHO (*Zea mays*, L.)

ALFREDO JOSÉ LOPÉZ PÉREZ

Orientador: PROF. DR. ANDRÉ MARTIN LOUIS NEPTUNE

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

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

junho, 1982

A meus pais, Alfredo e Nena, e
a meus filhos Vivian, Lissette
e Alfredo,
Ofereço

A minha esposa Cleide
Dedico

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. André Martin Louis Neptune, pelo estímulo durante os Cursos de Pós-Graduação, e sua orientação e amizade.

- Ao Prof. Dr. Toshiaki Kinjo e ao Prof. Dr. Eurípides Malavolta, por suas valiosas recomendações, amizade e apoio.

- Ao Dr. Takashi Muraoka, por todo o seu valioso aporte ao esclarecimento dos problemas apresentados no experimento, e sua desinteressada cooperação e amizade.

- Ao Prof. Antonio Assis Carvalho Filho, da UNESP, campus de Presidente Prudente, por sua valiosa e desinteressada colaboração na análise estatística do presente trabalho.

- Aos Srs. Marileuza Aparecida Bassi e João Odemir Salvador, da Seção de Fertilidade do Solo do CENA, Piracicaba, por seus valiosos auxílios na parte técnica.

- Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), pela valiosa colaboração para a montagem do experimento em casa-de-vegetação, e o fornecimento de equipamentos, laboratórios e reativos para as análises.

- A Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), San Cristóbal, Venezuela, em especial nas pessoas do Dr. Rafael Pérez Levy e Dr. Marcial Alí Huggins, por ter me dado a oportunidade de efetuar o curso de Pós-Gradua-

ção.

- A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), a seus Professores e Funcionários, pela amizade e apoio brindado.

- A minha querida esposa Cleide Cavichioli de López, pela sua grande colaboração, estímulo e apoio em todo momento, assim como na correção idiomática do presente trabalho.

ÍNDICE

	<u>página</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
3. MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1. Solos	24
3.2. Métodos de análise química para fósforo	25
3.2.1. Fósforo total	26
3.2.2. Fósforo solúvel	26
3.2.3. Fósforo orgânico	28
3.3. Experiências em casa de vegetação	28
3.4. Fósforo total na matéria vegetal seca	30
3.5. Análise estatística	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Análise química e mecânica de solos	32
4.2. Análise química para fósforo em solo	36
4.2.1. Fósforo solúvel	36
4.2.2. Fósforo orgânico	42
4.2.3. Fósforo total	44
4.3. Ensaios em casa de vegetação	50
4.3.1. Feijoeiro	50
4.3.2. Milho	65
4.4. Correlações	78
4.4.1. Matéria vegetal seca e fósforo total na MVS, com fósforo solúvel no solo	78

4.4.1.1. Feijoeiro	78
4.4.1.2. Milho	81
4.4.2. Matéria vegetal seca e fósforo total na MVS, com fósforo orgânico no solo	84
4.4.2.1. Feijoeiro	84
4.4.2.2. Milho	86
4.4.3. Matéria vegetal seca e fósforo total na MVS, com fósforo total no solo	86
4.4.3.1. Feijoeiro	86
4.4.3.2. Milho	89
4.4.4. Matéria vegetal seca e fósforo total na MVS, com níveis de fósforo aplicado ...	91
4.4.4.1. Feijoeiro	91
4.4.4.2. Milho	93
4.4.5. Matéria vegetal seca com fósforo total na MVS	95
4.4.5.1. Feijoeiro	95
4.4.5.2. Milho	95
4.5. Sugestões para pesquisas posteriores	97
5. CONCLUSÕES	99
6. LITERATURA CITADA	101

LISTA DE TABELAS

	<u>página</u>
Tabela 1. Análise química dos solos	34
Tabela 2. Análise granulométrica e umidade dos solos .	35
Tabela 3. Fósforo solúvel obtido por diferentes méto- dos de análise, para cinco solos do Estado de São Paulo	37
Tabela 4. Fósforo orgânico obtido por diferentes méto- dos de análise, para cinco solos do Estado de São Paulo	43
Tabela 5. Fósforo total obtido por diferentes métodos de análise, para cinco solos do Estado de São Paulo	47
Tabela 6. Porcentagem de fósforo solúvel (Ps) segundo o método de análise empregado, e com referên- cia ao método empregado para fósforo total (Pt)	49
Tabela 7. Porcentagem de fósforo orgânico (Po) segundo o método de análise empregado, e com referên- cia ao método empregado para fósforo total .	51
Tabela 8. Matéria vegetal seca, e fósforo total na MVS, obtido em Feijoeiro cultivado em cinco solos	

do Estado de São Paulo, a diferentes níveis de fósforo adicionado (Pa)	55
Tabela 9. Produção relativa (PR _g) de MVS no Feijoeiro, com referência a máxima produção obtida para cada solo	60
Tabela 10. Produção relativa (PRT) de MVS no Feijoeiro, com referência a máxima produção obtida em todos os solos	61
Tabela 11. Porcentagem de utilização eficiente (UE%) e incremento na produção (Δ Pr) no feijoeiro .	62
Tabela 12. Matéria vegetal seca e fósforo total na MVS, obtido em milho cultivado em cinco solos do Estado de São Paulo, a diferentes níveis de fósforo adicionado (Pa)	69
Tabela 13. Produção relativa (PRS) de MVS no milho, com referência a máxima produção obtida para cada solo	74
Tabela 14. Produção relativa (PRT) de MVS no milho, com referência a máxima produção obtida em todos os solos	76
Tabela 15. Porcentagem de utilização eficiente (UE%) e incremento na produção (Δ Pr) no milho	77

Tabela 16. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a matéria vegetal seca e/ou o fósforo total na MVS, no feijoeiro, e o fósforo solúvel do solo, obtido por diferentes métodos de análise	80
Tabela 17. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a matéria vegetal seca e/ou o fósforo total na MVS, no milho, com o fósforo solúvel do solo, obtido por diferentes métodos de análise	82
Tabela 18. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a matéria vegetal seca e/ou o fósforo total na MVS de feijoeiro, com o fósforo orgânico do solo, obtido por diferentes métodos de análise	85
Tabela 19. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a matéria vegetal seca e/ou o fósforo total na MVS de milho, com o fósforo orgânico do solo obtido por diferentes métodos de análise	87

Tabela 20. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a matéria vegetal seca e/ou o fósforo total na MVS de feijoeiro, com o fósforo total do solo obtido por diferentes métodos de análise	88
Tabela 21. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a matéria vegetal seca e/ou o fósforo total na MVS de milho, com o fósforo total do solo, obtido por diferentes métodos de análise	90
Tabela 22. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a matéria vegetal seca e o fósforo total na MVS em feijoeiro, com os diferentes níveis de fósforo adicionado ao solo, para cada tipo de solo	92
Tabela 23. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a matéria vegetal seca, e o fósforo total na MVS em milho, com os diferentes níveis de fósforo adicionado ao solo, para cada tipo de solo	94

Tabela 24. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a matéria vegetal seca e o fósforo total na MVS de feijoeiro, para cada nível de fósforo adicionado ao solo	96
Tabela 25. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a matéria vegetal seca e o fósforo total na MVS de milho, para cada nível de fósforo adicionado ao solo	94

LISTA DE FIGURAS

página

Figura 1. Feijoeiro em casa de vegetação aos 18 dias após o plantio, para diferentes níveis de fósforo adicionado ao solo, e para diferentes solos	52
Figura 2. Feijoeiro em casa de vegetação aos 40 dias após o plantio, para diferentes níveis de fósforo adicionado ao solo, e para diferentes solos	53
Figura 3. Milho em casa de vegetação aos 20 dias após o plantio, para diferentes níveis de fósforo adicionado ao solo, e para diferentes solos.	66
Figura 4. Milho em casa de vegetação aos 35 dias após o plantio, em diferentes solos, e para os níveis P_0 e P_1 de fósforo adicionado ao solo .	67
Figura 5. Milho em casa de vegetação aos 35 dias após o plantio, em diferentes solos, e para os níveis P_2 e P_3 de fósforo adicionado ao solo .	68

LISTA DE GRÁFICOS

	<u>página</u>
Gráfico 1. Fósforo solúvel nos diferentes solos, por diferentes métodos de análise	39
Gráfico 2. Fósforo orgânico nos diferentes solos, por diferentes métodos de análise	45
Gráfico 3. Fósforo total nos diferentes solos, por diferentes métodos de análise	48
Gráfico 4. Matéria vegetal seca produzida pelo feijoeiro, para diferentes níveis de fósforo adicionado, e nos diferentes solos	56
Gráfico 5. Fósforo total na MVS do feijoeiro, para diferentes níveis de fósforo adicionado e nos diferentes solos	58
Gráfico 6. Matéria vegetal seca produzida pelo milho, para diferentes níveis de fósforo adicionado, e nos diferentes solos	70
Gráfico 7. Fósforo total na MVS de milho, para diferentes níveis de fósforo adicionado, e nos diferentes solos	72

RESUMO

EXTRAÇÃO DO FÓSFORO SOLÚVEL, ORGÂNICO E TOTAL EM SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO POR DIVERSOS MÉTODOS QUÍMICOS, E DISPONIBILIDADE DESTES ELEMENTOS UTILIZANDO O FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*, L.) E MILHO (*Zea mays*, L.)

Autor: ALFREDO JOSÉ LÓPEZ PÉREZ

Orientador: Prof. Dr. ANDRÉ MARTIN LOUIS NEPTUNE

Foram estudados diferentes extratores químicos para fósforo solúvel, fósforo orgânico e fósforo total, em cinco solos do Estado de São Paulo: Areia Quartzosa; Podzólico Vermelho Amarelo, variação Laras; Latossolo Roxo; Podzólico Vermelho Amarelo, variação Piracicaba e Terra Roxa Extrudada.

Foram também estudadas as respostas a quatro níveis de fósforo aplicado ao solo, nos cinco solos já mencionados, utilizando o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e milho (*Zea mays* L.), cultivados em casa de vegetação.

Fizeram-se as correlações pertinentes, e as seguintes conclusões foram tiradas:

1. Os melhores extratores para P solúvel foram o H_2SO_4 0,05 N (Método do IAC) e H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,05 N (Método de Mehlich).

2. No P orgânico os extratores foram equivalentes.

3. Para o P total, os melhores métodos foram os de Sommers e Nelson e o de Jackson.

4. Tanto no milho, como no feijoeiro, houve resposta significativa ao P adicionado ao solo.

5. A utilização efetiva do fósforo pelas duas culturas, foi baixa.

6. As melhores correlações do P solúvel com a matéria vegetal seca e o P total na MVS, nas duas culturas, foram com os extratores H_2SO_4 0,05N (IAC) e H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,05 N (Mehlich) ($r = 0,94^{**}$).

7. Os dois extratores usados para o P orgânico deram correlações similares com a matéria vegetal seca e o P total na MVS para as duas culturas ($r = 0,69^*$).

SUMMARY

EXTRACTION OF SOLUBLE, ORGANIC AND TOTAL PHOSPHORUS
IN SOILS OF THE SÃO PAULO STATE, BRAZIL, AND
AVAILABILITY OF THIS ELEMENT, USING BEAN PLANTS
(*Phaseolus vulgaris*, L.) AND CORN (*Zea mays*, L.)

Author: ALFREDO JOSÉ LÓPEZ PÉREZ

Adviser: Prof. Dr. ANDRÉ MARTIN LOUIS NEPTUNE

Various extractions methods for soluble P, organic P and total P, were compared on five soils of the State of São Paulo, Brazil, namely: a. sandy quartz (Entisol), b. red yellow podzolic, Lara variation (Ultisol); c. red-ocre latosol (Oxisol); d. red yellow podzolic, Piracicaba, variation (Ultisol); e. terra roxa estruturada (Alfisol).

On these soils, response to phosphorus fertilizer added in different rates was studied, with potted bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.) and corn (*Zea mays* L.).

According to the data, the following conclusions were drawn:

1. The best extractants for soluble P were H_2SO_4 0.05 N (IAC method) and H_2SO_4 0.025 N + HCl 0.05 N (Mehlich method).

2. For removing and measuring the organic P, the extractants were equivalents.

3. The chemical method of Sommers & Nelson and that of Jackson were the best for the total P in the soil.

4. There was a significant response to P added by both crops.

5. The efficient utilization of P, by both crops, was low.

6. There was a very good correlation ($r = 0.94^{**}$) between the soluble P extracted by means of the Mehlich and IAC methods and Dry Vegetal Matter (DVM) and the P in this DVM.

7. Both extractants for organic P gave good correlation with DVM and P in this DVM ($r = 0.69^{*}$).

1. INTRODUÇÃO

O fósforo é um elemento carente na maioria dos solos do Brasil. O ânion fosfato liga-se com facilidade a cargas positivas livres - cátions, compostos ou partículas coloidais - formando os mais diversos sistemas, com diferentes graus de solubilidade, os quais contribuem para manter o equilíbrio do fósforo na solução do solo.

De acordo com OLSEN e FRIED (1957), durante período de rápido crescimento, o fósforo na solução do solo pode ser renovado, a partir da fase sólida, em dez ou mais vezes ao dia em solos férteis, podendo atingir até 500 vezes o teor inicial, porém, 0,1 ppm na solução do solo é suficiente (Seatz e Conney, 1963, citados por BRAGA e YANNER, 1968).

Como nem todo o fósforo presente no solo é considerado disponível para as plantas, diferentes métodos têm sido empregados para medir a capacidade de um solo em suprir

com este elemento as necessidades do vegetal; tais métodos podem ser químicos, biológicos ou microbiológicos, com ou sem auxílio de isótopos marcados.

Sabe-se que o método biológico é o mais apropriado, porque a própria planta serve como indicadora de suas necessidades. Como não é possível o seu uso em análise de rotina, então utilizam-se os métodos químicos, devido à facilidade, rapidez e economia com que se pode obter um diagnóstico (IVANOV, 1970). O extrator ideal seria aquele que levasse em conta, além das características da planta, no que diz respeito ao seu ciclo vegetativo, as suas exigências em nutrientes e a sua capacidade genética, entre outros (CATANI *et alii*, 1955).

O conteúdo de fósforo total na maioria dos solos minerais varia entre 0,02 a 0,5% (JACKSON, 1964). Este pode se subdividir em duas frações principais: uma inorgânica que inclui principalmente fosfatos complexos de Al, Fe e Ca, a qual por sua vez se subdivide em uma parte solúvel em extratores químicos, e uma insolúvel, e outra parte orgânica.

No estudo de fertilidade de solo, não há um conceito definido quanto a preferência do vegetal por determinada forma química de um nutriente. Os extratores químicos utilizados para medir o teor "disponível" do nutriente o fazem de maneira empírica, não distinguindo do conjunto de sistemas presentes no solo, aquelas formas preferidas pelo vege-

tal.

A análise de fósforo solúvel por dois métodos pode apresentar correlação entre si em um grupo de solos e não em outro. No entanto, a quantidade de trabalhos técnicos sobre comparação entre extratores químicos, para a determinação de fósforo solúvel, e testes de avaliação em casa de vegetação ou campo, cresce continuamente, sugerindo que, de forma geral, a melhor técnica de extração ainda não existe (CHANG, 1965).

A função do fósforo orgânico no solo é geralmente esquecida, provavelmente porque, em solos minerais cultivados, a maior parte do fósforo total está sob forma inorgânica. Acredita-se que a contribuição do fósforo orgânico no aproveitamento da planta é pequeno nos solos de regiões temperadas (RUSSELL, 1973), embora esta possa ser significativa em solos de regiões tropicais (WILLIAMS, 1967).

As principais formas de fósforo orgânico no solo, são as seguintes: Ácidos Nucleicos, Fosfato de Inositol e Fosfolipídeos. No entanto, existem fosfoproteínas e fosfoaçúcares, tais como Glucose-1-Fosfato, as quais se apresentam em quantidades menores a 1% do fósforo orgânico (ANDERSON, 1967).

Em referência ao fósforo orgânico e fósforo total, os trabalhos feitos correlacionando a quantidade de fósforo no solo, com a real absorção do mesmo pela planta, tem

sido poucos.

Pelo exposto, o presente trabalho, conduzido em vasos em casa de vegetação, teve como objetivo, estabelecer correlações entre as classes de fósforo: solúvel, orgânico e total, em cinco solos do Estado de São Paulo, em função dos extratores empregados, com a quantidade de Matéria Vegetal Seca, e de Fósforo Absorvido pelas culturas de Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade Iguazu, e Milho (*Zea mays* L.) variedade Piranão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A maior parte dos solos das regiões tropicais e subtropicais possuem um nível muito baixo em fósforo disponível. Por isso os rendimentos das culturas são geralmente muito baixos, a menos que se apliquem fertilizantes fosfatados.

De acordo com CATANI (1947), os solos do Estado de São Paulo são realmente pobres em fósforo. Verificou-se pelos seus estudos, que a Terra Roxa Legítima é a mais rica, vindo depois os solos da formação Corumbataí.

VIEIRA (1971), trabalhando com solos do Estado do Pará, encontrou valores de fósforo total situados entre 0,01 a 0,15%. PASQUAL e NEPTUNE (1971), encontraram teor até de 4% de fósforo total em uma Terra Roxa Estruturada do Estado de São Paulo. De fato os solos Terra Roxa do Brasil, acusam uma quantidade consideravelmente mais alta de fósforo to-

tal e inorgânico, do que aquêles solos altamente meteorizados (NEPTUNE, 1976).

Nem todo o fósforo do solo é disponível para as plantas. A proporção das diversas formas de fósforo e o pH do sistema, vão influenciar na atividade ou concentração de íons fosfato na solução do solo e, portanto, na disponibilidade aos vegetais (CATANI e BATAGLIA, 1968). Deduz-se então que, o conhecimento das diversas formas de fósforo ocorrendo em um solo, reveste-se de importância na análise química do mesmo como supridor do elemento às culturas.

Tem sido propostos diversos métodos para a determinação do fósforo total em solos. Os dois métodos mais comumente usados para a extração do fósforo total de solos são: a digestão com Ácido Perclórico (HClO_4) (SOMMERS e NELSON, 1972), e a fusão com Carbonato Sódico (Na_2CO_3) e posterior extração com Ácido Sulfúrico concentrado (H_2SO_4) (JACKSON, 1970).

A digestão com Ácido Perclórico pode dar resultados algo baixos na ausência de HF , o qual garante a destruição dos silicatos que contêm fosfatos minerais (SOMMERS e NELSON, 1972; SYERS *et alii*, 1968). Por outro lado, o método de fusão com Carbonato Sódico dá recuperação quantitativa de todas as formas de fósforo em solos, mas é tedioso e consome muito tempo (MATTINGLEY, 1965; SHERRELL e SAUNDERS, 1966; SYERS *et alii*, 1967, 1969). A diferença que pode aparecer en-

tre os valores de fósforo total pelos métodos de fusão com carbonato de sódio, e digestão com ácido perclórico, pode ser atribuída ao fósforo não extraível pelo ácido perclórico.

DICK e TABATABAI (1977), preconizam um novo método para a determinação do fósforo total, baseados na ebulição, até a secagem do solo, com NaBrO, e a posterior extração do ortofosfato com ácido sulfúrico 1 N, determinando fotocolorimetricamente o fósforo extraído, pelo método de azul de molibdênio modificado (MURPHY e RILEY, 1962). CATANI e BATALIA (1968), usaram o método por ataque com ácidos Clorídrico, Nítrico e Sulfúrico concentrados, na proporção 10:3:5, e posterior extração com água.

Diversos pesquisadores, relacionando o extrator químico com as formas inorgânicas do fósforo no solo, puderam identificar aquele que mais contribui ao teor disponível deste extrator, e assim chegar à preferência do vegetal (KUZ'MICH e CHUPRIKOV, 1979; PÉREZ MÉNDEZ *et alii*, 1978; FERREIRA *et alii*, 1978; ANDERSON, 1975; SÁ *et alii*, 1974). Deve-se acrescentar que os próprios extratores utilizados são mais específicos a um tipo de composto de fósforo, não impedindo que extraia também dos outros tipos, conforme apontam SMITH (1970) e PRATT e GARBER (1964), variando de solo para solo sua atividade química (FASSBENDER, 1966).

FASSBENDER *et alii* (1968), ressaltam que a distribuição dos fosfatos de Fe, Al e Ca, e a sua predominân-

cia nos solos, depende do pH dos mesmos, do produto de solubililidade dos distintos fosfatos, dos cátions presentes no solo e do grau de meteorização destes solos. Com o aumento do pH favorece-se a predominância dos fosfatos de Ca, por outro lado, a meteorização e consequente acidificação dos solos, favourece a predominância de fosfatos de Fe e Al.

O fosfato de Fe seria a forma dominante em solos mais intemperizados (latossolos), e naqueles menos intemperizados, a do fosfato de Ca (CHANG, 1965).

BALERDI *et alii* (1968), estudaram 104 solos na América Central, e verificaram que 75 mostraram predominância de P-Ca, e 29 P-Al.

CATANI e BATAGLIA (1968), analisando o fracionamento do fósforo em 8 solos do Estado de São Paulo e do Estado do Paraná, obtiveram: P ocluido > P-Fe > P-Ca > P-Al. Os solos estudados apresentavam teor de Cálcio muito alto.

SMITH (1970), em uma ampla revisão bibliográfica, concluiu que no fracionamento de fósforo em solos ácidos, cumpre-se que: P-Red. > P-Al > P-Fe > P-Ca.

CABALA e FASSBENDER (1970), analisando amostras de perfis de solos da Bahia, obtiveram que: P-Red. > P-Fe > P-Ocluido > P-Ca > P-Al, e verificaram que o fósforo orgânico contribuiu com 55% do fósforo total.

DUTRA (1973), estudando o fracionamento de fósforo numa topossequência de solos de Viçosa-MG, verificou que as formas dominantes foram P-Red. e P-orgânico.

BAHIA FILHO (1974), estudando solos de Minas Gerais analisou as formas de fósforo e encontrou: P-Red. > P-Fe > P-Al > P-Ca.

KARIM e KHAN (1955), estudando solos do Paquistão, observaram que o P-Orgânico predominava em pH = 4,6, e que P-Al e P-Fe são predominantes em pH = 5,6.

DAHNIKE *et alii* (1963), estudando solos de El Salvador, encontraram que nos solos jovens, a maior proporção de fósforo total foi encontrada como P-Orgânico, P-Disponível e P-Al, sendo que nos solos velhos predominavam o P-Ocluso e P-Fe.

PEREIRA e FARIA (1977), trabalhando no médio São Francisco, verificaram que o fósforo adicionado, após seis meses de incubação, se encontrava praticamente em formas solúveis, formando compostos de P-Al, P-Fe e P-Ca.

Acresce ainda à dificuldade de se definir estas predominâncias, a própria credibilidade que se dá à metodologia do fracionamento do fósforo segundo CHANG e JACKSON (1956). Diversas objeções e modificações tem surgido na literatura, muito bem apanhadas em SMITH (1970), pois em qualquer das formas ativas, levantam-se suposições de não espelharem

os valores reais.

Na realidade, entre as comprovações de laboratório e as ocorrências nos solos, acontecem diferenças de difíceis explicações.

De uma forma geral, segundo a ampla literatura consultada a respeito, podem-se distinguir as seguintes formas de fósforo no solo:

P-Fe : que indicam predominância nos solos âci
dos.

P-Ca : indicando predominância nos solos alcalinos.

P-Fe, P-Al, P-Ca: indicando predominância em
solos levemente âcidos a neu
tros.

P-Fe, P-Ca : indicando mistura de solos, ou so
los com adubações de fosfatos na
tivos.

P-Fe, P-Al: indicando solos âcidos adubados
com fosfatos solúveis.

Muitas pesquisas têm sido feitas a respeito de diferentes métodos de extração de fosfatos solúveis, através das quais se tem constatado que, um ou outro, para as con
dições de solo específico de cada trabalho, deram a melhor es
timativa do suprimento de fósforo.

Destacam-se três tipos de extratores: os de ácidos fortes diluídos, desenvolvidos para solos ácidos; os alcalinos, desenvolvidos para solos alcalinos e/ou calcários, e os de efeito complexante, desenvolvidos para solos de neutros a ácidos, principalmente os fertilizados com fosfatos na turais. Todos têm suas vantagens e desvantagens, no entanto nenhum é universal.

Os extratores mais usados são cronologicamente, os seguintes:

- Ácido Cítrico (Dyer, 1894, em FRIED e BROES HART, 1967).
- Água, só ou saturada com CO₂ (Burd, 1918, em MELSTED, 1967, Daubeney, 1945, em JACKSON, 1970; HAGIN *et alii*, 1963).
- Ácido Sulfúrico (TRUOG, 1930; Mc LEAN *et alii*, 1955; CATANI *et alii*, 1955; SUSUKI *et alii*, 1963).
- Lactato de Amônio em Ácido Acético (Egner, 1932, Riehm, 1942 e 1948, em FRIED e BROESHART, 1967).
- Acetato de Sódio em Ácido Acético (Morgan, 1935 e 1941, em FRIED e BROESHART, 1967; PEECH e ENGLISH, 1944).
- Ácido Acético (Spurway, 1944, em SMITH e COOK, 1953).

- Ácido Clorídrico e Fluoreto de Amônio (BRAY e KURTZ, 1945).
- Ácido Clorídrico e Ácido Sulfúrico (MEHLICH, 1953).
- Cloreto de Cálcio (Aslying, 1954, em HAGIN e HILLINGER, 1964).
- Resina Trocadora de Ânions (AMER *et alii*, 1955; MOSEUR *et alii*, 1959; SIBBESEN, 1977).
- Hidróxido de Sódio (Saunder *et alii*, 1956, em PICHOT e ROCHE, 1972).
- Carbonato diversos (GRUNES *et alii*, 1963; OLSEN *et alii*, 1954; FRIED e BROESHART, 1967).
- Ácido Bórico, no método de eletrodiálise (PAYNE e HANNA, 1965).
- EDTA (FRIED e BROESHART, 1967; ALEXANDER e ROBERTSON, 1972; SAHRAWAT, 1977).

Muitos autores vêm buscando correlações entre os extratores químicos e fósforo disponível para a planta através da matéria vegetal seca, ou pelo fósforo absorvido.

SMITH e COOK (1953), estudaram a correlação entre a matéria vegetal seca produzida pelo trigo em casa de vegetação, e diferentes métodos de análise para fósforo "disponível", chegando a conclusão que o método de Bray P-1 deu a melhor correlação.

WARREN e COOKE (1962), estudando solos sob plantio de beterraba açucareira da Inglaterra e da Escócia, encontraram a melhor correlação entre a matéria vegetal seca e o método de análise, nos métodos que usam altos volumes de ácido sulfúrico diluído.

HAGIN *et alii* (1963), estudando solos de Israel, com ervilhas, em casa de vegetação, não encontraram correlações significativas com os métodos de Olsen, Bray P-1 e Ácido Cítrico diluído.

JACKSON *et alii* (1964), encontraram que o método de Olsen foi o menos afetado pelo pH do solo, servindo portanto, para solos ácidos e calcários. Entre os métodos estudados encontraram melhor correlação com alfafa em condições de campo, e depois, aveia e trevo em casa de vegetação, na seguinte ordem: Olsen > Bray P-1 > Olsen + Fluoreto de Amônio.

WILLIAMS e COOKE (1965), estudando a correla-ção entre matéria vegetal seca em nabo, batatinha e pastagem, encontraram que a melhor correlação foi com o extrator de Olsen.

DAZA e MULLER (1965), analisando diferentes solos da região tropical, por diferentes métodos, encontraram a melhor correlação significativa entre os métodos de Bray P-1 e Olsen.

JUANG e FANG (1965), estudando diferentes so-

los sob plantio de cana-de-açúcar, encontraram correlação significativa entre a matéria vegetal seca da cana e os métodos de Bray P-1 e P-2, para solos podzolizados, mas não para outros solos diferentes.

KACAR *et alii* (1967), estudaram 62 amostras de solos com pH que variava de 5,4 a 7,7, obtendo a seguinte precisão para diferentes métodos de análise: Bray P-2 > Kacar > Bray P-1 > Olsen *et alii* > Bingham.

BALERDI *et alii* (1968), trabalhando com 104 solos da América Central em casa-de-vegetação, usando como planta indicadora o tomate, correlacionaram cinco métodos químicos com crescimento relativo, e obtiveram os seguintes coeficientes: Egner-Riehm (lactato de cálcio 0,02 N; pH = 3,8; relação 1:50) $r = 0,947$; Olsen, $r = 0,870$; Mehlich, $r = 0,848$; Saunder, $r = 0,340$. Egner-Riehm e Olsen foram indicados para os experimentos de calibração.

FONSECA *et alii* (1968), trabalhando com micro parcelas de milho em 170 amostras da região cacaueteira da Bahia, encontraram que o nível crítico para os métodos de Bray P-1 e Mehlich, foram 11 ppm para produção relativa de massa verde de milho de 60%, e de 17 ppm para uma produção de 75%, com bons coeficientes de correlações.

HALM (1968), trabalhando com milho em diferentes solos, encontrou que o método de Bray P-1 apresentou alta

significância com solos neutros, o método de Bray P-2 com solos ácidos e neutros, e o método de Olsen para solos ligeiramente ácidos ou alcalinos.

OKE (1970), trabalhou com 15 solos e com 17 extratores diferentes, encontrando a maior correlação ($r=0,660$) entre a quantidade de fósforo no milho e o fósforo solúvel, usando ácido sulfúrico 0,01 N como extrator do fósforo do solo.

CABALA e FASSBENDER (1970), trabalhando em casa de vegetação, com oito solos do sul da Bahia, e usando sorgo como planta indicadora, encontraram correlação com a produção de matéria vegetal seca na seguinte ordem: Olsen > Truog > Egner-Riehn > Mehlich.

HERNANDO *et alii* (1970), trabalhando com vinte solos da Espanha, em casa de vegetação, comparando fracionamento de fósforo e fósforo "disponível", encontraram correlação entre a absorção de fósforo e o fósforo "disponível" pelo trigo var. Mara, e o extrator H_2SO_4 0,5 N.

VELAYTHAM e JAIN (1971), afirmaram que o "extrator ideal" para um nutriente deveria repetir a extração padrão de planta durante todo o período de crescimento. Seus estudos foram em condições de campo, e os resultados preliminares foram com o fósforo, extraído pelo método de Olsen, e utilizaram o solo Coimbatore da Índia. O arroz extraiu de modo

semelhante ao método de Olsen com pH modificado para 8,2.

VIDOR e FREIRE (1971), utilizaram três solos de Rio Grande do Sul, o extrator Mehlich e soja em condições de campo usando como planta indicadora, medindo-se a produção de grãos. Encontraram para os solos argilosos o nível crítico de 8 a 10 ppm de P, e para solo franco argiloso, o nível crítico de 20 a 25 ppm de P.

ANGHINONI e BOHNEN (1972), estudando 40 solos do Rio Grande do Sul, compararam quatro métodos químicos em casa de vegetação e usaram como planta teste o sorgo, através do P absorvido pela planta. Todos os métodos mostraram-se eficientes, mas o extrator de Mehlich foi o que melhor se correlacionou com a absorção de fósforo pelo sorgo, e o de Bray e Kurtz modificado (NH_4F 0,1 N + HCl 0,1 N) foi o que mais extraiu fósforo.

TORRES e ORTEGA (1972), trabalhando em casa de vegetação com alface, em 10 solos do México, encontrou a melhor correlação entre o P extraído pela planta, e o P extraído do solo, com os métodos de Bray P-1 e Peech-Morgan.

BRAGA e DEFELIPO (1972a, b), trabalhando com 9 solos sob vegetação de cerrado no Triângulo Mineiro, verificaram que o fósforo "disponível" obtido pelos diversos extratores, correlacionou com a matéria vegetal seca produzida por painço. Os extratores usados foram os de Mehlich, Bray P-1 ,

Bray P-2 e Olsen.

CABALA e SANTANA (1972), comparando extratores químicos para fósforo "disponível" em 10 solos da Bahia, encontraram que as quantidades de fósforo extraídas estão na seguinte ordem: Truog > Olsen modificado > Olsen > Egner-Riehm > Mehlich.

FOLE e GRIMM (1973), verificaram que o método de Bray e Kurtz modificado extraiu quase duas vezes mais fósforo adicionado para a cultura de soja, do que o método da resina, que extraiu semelhantemente ao de Mehlich. Quando ao fósforo residual (cultura anterior = trigo), o de Mehlich extraiu menos.

DALAL (1973), encontrou que a quantidade de fósforo extraído com NaOH 0,25 M/Na₂CO₃ 0,1 M, correlacionou altamente ($r = 0,828$) com o fósforo extraído pelo trigo em casa de vegetação.

WALMSLEY e CORNFORTH (1973), usando 155 solos da Índia, encontraram que o método de Olsen *et alii* foi o que melhor correlacionou a quantidade de fósforo extraída pelo milho, e o fósforo "disponível" no solo.

SÁ JUNIOR *et alii* (1974), trabalhando com milho em casa de vegetação, em solos da "Zona Litoral-Mata" de Pernambuco, e utilizando diferentes extratores, encontraram que o de melhor precisão foi o de Hawaii (HCl 0,5 N).

BAHIA FILHO (1974), trabalhando com 20 latossolos de Minas Gerais, e aveia como planta teste, em casa de vegetação, comparou diversos métodos para extração do fósforo "disponível". O método de Bray P-1, embora tenha sido estatisticamente equivalente aos de Mehlich e Olsen, foi indicado para os laboratórios de rotina devido a: a. maior facilidade no preparo da solução extratora; b. boa relação solo:solução, e c. maior amplitude de teores de fósforo.

TITTERINGTON e VARSA (1974), trabalharam com cinco solos do Rio Grande do Sul, tendo o sorgo como planta indicadora, obtiveram, em casa de vegetação, a melhor correlação entre a produção de grãos e o método de Bray modificado ($\text{HCl } 0,1 \text{ N} + \text{NH}_4\text{F } 0,1 \text{ N}$).

GONZÁLEZ e PÉREZ (1976), trabalhando com solos com valor de pH menor a 7, e conteúdos de Ca menores a 1000 ppm, encontraram que a melhor correlação entre matéria vegetal seca de milho, e fósforo extraído do solo, foi com o método de Mehlich.

GONZÁLEZ *et alii* (1976), encontrou que a melhor correlação entre matéria vegetal seca de milho, obtida em casa de vegetação, e fósforo solúvel em solos de pH menor de 7, foi obtida com o método de Mehlich.

BRAGA *et alii* (1976), conduzindo sete ensaios com soja, em solos sob cerrado no Estado de Minas Gerais, em

condições de campo, nos resultados do primeiro ano consideraram que os extratores de Bray P-2 e de Bray e Kurtz modificado, extraíram mais fósforo que o método de Mehlich, proporcionando maior amplitude de valores.

PEREIRA e FARIA (1977), trabalhando com um vertissol de pH 8, de Juazeiro no médio São Francisco, em casa de vegetação e usando milho como planta indicadora, obtiveram boa correlação entre a produção de matéria vegetal seca, e os métodos de Bray P-1, Olsen *et alii*, Mehlich e com água.

ENWEZOR (1977), trabalhando com solos da Nigéria e milho como planta teste, encontrou a melhor correlação entre matéria vegetal seca, e fósforo "disponível", com o método que usa como extrator NH_4F 0,03 N e HCl 0,1 N, sendo recomendado como método de rotina para a determinação de fósforo "disponível" em solos ácidos da Nigéria.

RESENDE (1977), utilizando solos da Bahia e estudando-os em várias profundidades, correlacionou as formas de fósforo obtidas e o fósforo "disponível" através dos métodos de Mehlich e Olsen mais fluoreto, e encontrou que este último apresentou resultados mais constantes e representa melhor a realidade, estudo apenas de laboratório.

DHILLON *et alii* (1977), trabalhando com solos da Índia, usando trigo e arroz como plantas teste em casa de vegetação, encontraram que a melhor correlação com referência

ao fósforo absorvido, e ao crescimento vegetal, deu-se quando a extração no solo foi feita com o método de Olsen *et alii*.

BITTENCOURT *et alii* (1978), trabalhando com diferentes solos tratados com N, K e diferentes níveis de P, usando cana-de-açúcar como planta teste, e comparando os resultados na determinação de fósforo em solo, com o crescimento da cana em campo, encontraram que o melhor método é aquele que usa ácido sulfúrico 0,5 N como extrator, com relação solo :solução 1:10, e 15 minutos de tempo de agitação.

A porcentagem da fração orgânica no fósforo total é variável e situa-se entre os valores de 2,6 a 86%. Assim, por exemplo, BLACK e GORING (1953) indicam que esta fração varia entre 2,6 a 75% do fósforo total. Em 1961, BREMNER e HO enfatizam a importância quantitativa do fósforo orgânico em muitos solos, indicando que pode alcançar até 50% do P total. WELLS e SAUNDERS (1860), confirmaram esses resultados depois de pesquisarem 136 amostras de solos de Nova Zelândia, nos quais a porcentagem foi de 13 a 79%, com uma média de 54%. OMOSTOSO (1971) estima que em plantações de cacaueteiro de Nigéria, a porcentagem varia de 21 a 74%. KAILA (1963), encontrou em 213 amostras de solos, que o P orgânico contribui com 17 a 68% do fósforo total. MORTENSEN e HINES (1964), encontraram um limite superior de 80% e, em alguns trabalhos, especialmente em solos de clima tropical, como os de AWAN (1964) e de FRIEND e BIRCH (1960), apontam valores que chegam até 86% do fósforo total.

As moléculas orgânicas dos ácidos nucleicos, as quais participam da vida da célula, não existem livres na natureza, a menos que seja destruída a membrana celular. Elas apresentam duas formas: RNA e DNA, ambos formados por uma cadeia de nucleotídeos contendo cada uma delas o açúcar pentose, a base púrica ou pirimídica e funções orotofosfato. ANDERSON (1970), isolou duas formas de difosfato de pirimidina em extrato alcalino do solo, descobrindo assim a presença no solo da estrutura unitária característica do DNA. Em complemento a isso, ADAMS et alii (1954), ANDERSON (1961) e ISLAM e AMMED (1973), estimaram que a quantidade de ácidos nucleicos corresponde a 7% do fósforo orgânico total no solo.

Os ésteres fosfóricos do inositol representam mais de 50% do fósforo orgânico total do solo, em estimativas dadas por ANDERSON (1967), COSGROVE (1963) e McKERCHER (1968).

O ácido fítico ou hexafosfato de inositol, e seus sais hidratados de sódio, são muito solúveis. Por outro lado, os sais de Al, Fe, Ca e Mg são insolúveis (ANDERSON, 1963). As duas formas anteriores, usualmente chamadas fitina, são na realidade os mais comuns em plantas adultas. Numerosos isômeros tem sido isolados do solo por CONSGROVE (1963, 1967, 1972), MARTIN (1964), McKERCHER (1968) e L'ANNUNZIAIA (1975). A fitina pode se hidrolisar no solo por bactérias, liberando fosfatos sob formas disponíveis para as plantas (HANCE e ANDERSON, 1963).

Os fosfolipídeos mais frequentemente encontrados no solo são: Lecitina (Fosfatidilcolina), Fosfatidiletanolamina e Fosfatidilcerina (STRICKLAND, 1975). Estas formas, as quais são extraíveis com solventes orgânicos (éter, clorofórmio e benzeno), constituem entre 0,5 e 7% do fósforo orgânico do solo (ANDERSON e MALCOM, 1974).

Num estudo do movimento do fósforo em solos calcários, HANNAPEL *et alii* (1964a, b) consideraram que 90% das formas que se movimentam através do perfil são frações orgânicas; eles também concluíram que os microorganismos tem um papel predominante neste aspecto. FARDEAU *et alii* (1968), encontraram que as plantas são capazes de obter uma importante parte de seu fósforo por absorção do fitato de sódio aplicado como fertilizante. FURUKAWA e KAWAGUCHI (1969), estabeleceram que a incubação a 40°C do solo sob cultivo de arroz, reduzia em 20% o conteúdo de fósforo orgânico, e concluíram que a hidrólise da fitina é estimulada pela inundação do solo. SZEMBER (1960), encontrou que 50% dos microorganismos na zona das raízes contêm fitases.

Por outra parte, KOTELEV *et alii* (1953, 1960), os quais estudaram respectivamente 35 espécies de bactérias e 32 espécies de fungos do solo, estimaram que todos eles contêm nuclease, mas pouco fitase. BIRCH (1961), comparou a decomposição de plantas novas e velhas, e informou que a mineralização microbiológica é mais ativa em plantas novas, e que

70% do fósforo encontra-se na forma ácida solúvel, e 30% na forma ácida insolúvel. JACQUIN *et alii* (1968), encontraram que a proporção de fósforo orgânico formado, variava com a presença ou não de Ca, Al e Fe no meio nutritivo.

JOSHI e SAXENA (1972), afirmaram que a "humina", a fração não extraível da matéria orgânica, não continha fósforo. SWIFT e POSNER (1972), assinalaram que as moléculas mais pesadas dos ácidos húmicos tem o maior conteúdo de fósforo.

A proporção elevada de fósforo orgânico não se deve a grandes quantidades de fósforo orgânico presente, mas sim as pequenas reservas de fósforo total em muitos solos tropicais (BORNEMISZA, 1966).

Estudos recentes indicam que parte deste fósforo orgânico, especialmente suas frações mais importantes são, até certo ponto, diretamente disponíveis para as plantas, aumentando assim a importância do conhecimento detalhado desta fração de fósforo (BOWER, 1949; MORTENSEN e HINES, 1964; DORMAAR e WEBSTER, 1963; WILLIAMS e WALKER, 1967; HONG e YAMANE, 1975; TATE, 1979).

Apesar de sua contribuição de considerável importância, existem poucos trabalhos na América Latina que se dedicam ao estudo desta categoria de fósforo (AWAN, 1964; CATTANI *et alii*, 1957; DAHNKE *et alii*, 1964).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Solos

Foram utilizados cinco solos do Estado de São Paulo, a saber:

- a. Terra Roxa Estruturada (TRE), proveniente do Município de Botucatu;
- b. Podzólico Vermelho Amarelo, variação Piracicaba (PVp), proveniente do Município de Piracicaba;
- c. Latossolo Roxo, série Iracema (LR), proveniente do Município de Iracema;
- d. Podzólico Vermelho Amarelo, variação Laras (PVls), proveniente do Município de Corumbataí;
- e. Areia Quartzosa (AQ), cerrado, proveniente do Município de Brotas.

As letras entre parênteses representam os códigos de cada solo, que serão utilizados no texto e nas tabelas.

Os solos anteriores são classificados, ao nível de Ordem, segundo o Soil Taxonomy, da forma seguinte:

TRE : Ordem Alfisol

PVp : Ordem Ultisol

LR : Ordem Oxisol

PVls: Ordem Ultisol

AQ : Ordem Entisol

Todos os solos foram coletados a uma profundidade entre 0 e 25 cm. Postos a secar ao ar. Amostras compostas fora, peneiradas (Peneira 18) e pequenas porções das mesmas foram tomadas para análise química, análise granulométrica e determinação de umidade, no Laboratório de Solos, do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ.

3.2. Métodos de Análise Química para Fósforo

Para os diferentes solos, utilizaram-se os seguintes métodos de análise química para cada classe de fósforo:

3.2.1. Fósforo total

3.2.1.1. Digestão com Ácido Perclórico (HClO_4)
concentrado (SOMMERS e NELSON, 1972).

3.2.1.2. Fusão com Carbonato de Sódio (Na_2CO_3)
e posterior extração com Ácido Sulfú-
rico (H_2SO_4) concentrado (JACKSON,
1970).

3.2.1.3. Digestão com ácidos Clorídrico (HCl),
Nítrico (HNO_3) e Sulfúrico (H_2SO_4)
(CATANI e BATAGLIA, 1968).

3.2.2. Fósforo Solúvel

3.2.2.1. Método de Bray P-1 (BRAY e KURTZ,
1945), com solução extratora de Fluo-
reto de Amônio (NH_4F) 0,03 N e Ácido
Clorídrico (HCl) 0,025 N, com relação
solo:extrator 1:20 e 5 minutos de tem-
po de agitação.

3.2.2.2. Método de Bray P-2 (BRAY e KURTZ,
1945), com solução extratora de Fluo-

reto de Amônio (NH_4F) 0,03 N e Ácido Clorídrico (HCl) 0,1 N, com relação solo:extrator 1:20, e tempo de agitação de 1 minuto.

3.2.2.3. Método de Mehlich (MEHLICH, 1953), com solução extratora de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) 0,025 N e Ácido Clorídrico - (HCl) 0,05 N, sendo a relação solo:extrator de 1:20, e o tempo de agitação de 5 minutos. Este método é conhecido também como Método da Carolina do Norte.

3.2.2.4. Método do Instituto Agronômico, Campinas, SP (CATANI *et alii*, 1955), com solução extratora de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) 0,05 N, relação solo:extrator de 1:20, e tempo de agitação de 15 minutos.

3.2.2.5. Método de Olsen (OLSEN *et alii*, 1954), com solução extratora de Bicarbonato de Sódio (NaCO_3H) 0,05 M a pH 8,5, relação solo:extrator 1:20, e tempo de agitação de 30 minutos. Foram adiciono

nadas 3 gramas de carvão livre de fósforo para cada extração.

3.2.3. Fósforo Orgânico

3.2.3.1. Método de extração com Ácido Clorídrico (HCl) e Hidróxido de Sódio (NaOH), (MEHTA *et alii*, 1954).

3.2.3.2. Método de Ignição, e posterior extração com Ácido Sulfúrico (SAUNDERS e WILLIAMS, 1954).

Em todos os casos, o fósforo foi determinado fotolorimetricamente no aparelho de Klett-Summerson, a 660 mμ, pelo método do Azul Sulfomolibdico, modificado por MURPHY e RILEY (1962).

3.3. Experiências em casa de vegetação

Foram usadas duas espécies de plantas, uma leguminosa: Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade Iguaçu, e uma gramínea: Milho (*Zea mays* L.), variedade Piranão, as quais se cultivaram em vasos de 3 litros de capacidade, sendo que dos solos PVls, PVp e LR foram pesados 3 kg, da TRE,

2,5 kg e da AQ 4 kg.

O experimento constou de quatro tratamentos com quatro níveis de fósforo, e três repetições para cada um dos tratamentos. Os níveis de fósforo foram os seguintes:

P_0 : 0 kg de P_2O_5 /ha = 0 ppm de P

P_1 : 50 kg de P_2O_5 /ha = 10,92 ppm de P

P_2 : 100 kg de P_2O_5 /ha = 21,84 ppm de P

P_3 : 150 kg de P_2O_5 /ha = 32,76 ppm de P

A fonte de fósforo foi Superfosfato-Simples, com 17,22% de P_2O_5 solúvel em água.

Cada vaso recebeu uma adubação básica N K. Os níveis de Nitrogênio e Potássio no plantio, para as duas culturas, foram de 60 kg N/ha e 75 kg K_2O /ha.

A fonte de Nitrogênio foi Uréia com 45% de Nitrogênio, e a de Potássio foi Cloreto de Potássio com 60% de K_2O .

No Milho, foi aplicada uma dose suplementar de Nitrogênio, em cobertura aos 30 dias, correspondendo a 60 kg N/ha, usando-se como fonte Nitrato de Amônio com 33,5% de Ni-

trogênio.

Foram plantadas 5 sementes em cada vaso, fazendo-se o desbaste aos 7 dias, deixando três plântulas por vaso. Após um período de 60 dias, as plantas foram cortadas a 0,5 cm da superfície do solo, e postas a secar em estufa a 70°C.

Posteriormente pesou-se a matéria vegetal até peso constante em três pesadas consecutivas, moendo-se posteriormente o material vegetal seco, em micro moinho Wiley, peneira nº 20.

3.4. Fósforo Total na Matéria Vegetal Seca

Para determinar o fósforo total na matéria vegetal seca (MVS), foram pesadas 500 mg de MVS moída de milho e 250 mg de MVS moída de feijoeiro, procedendo-se a digestão nítrico-perclórica, e determinação posterior do fósforo pelo método do Vanado-Molibdato (HESSE, 1971).

3.5. Análise Estatística

O experimento foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e três repetições, para cinco solos diferentes, e duas culturas diferentes. Os cálculos foram feitos

na calculadora Texas "TI Programmable 59", com unidade impressora Texas PC-100C. As análises de variância foram feitas conforme PIMENTEL GOMES (1970), e as provas de significância estatística, através do Teste de F.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise Química e Mecânica de Solos

Os resultados das análises químicas feitas nos diferentes solos, estão apresentados na Tabela 1.

Segundo os Padrões de Fertilidade de Solo do Instituto Agronômico, Campinas (ULTRAFERTIL, 1980), podem-se fazer as seguintes considerações.

Os solos AQ e PVls apresentam acidez mediana e forte respectivamente; teores baixos de C%, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , assim como níveis não toleráveis de Al^{3+} .

Os solos LR e PVp, apresentam-se medianamente ácidos, sendo que o LR apresenta teores altos de C%, médio de K^+ , e alto de Ca^{2+} e Mg^{2+} , sendo o Al^{3+} tolerável; o PVp apresenta alto teor de C%, teores médios de K^+ e Ca^{2+} e alto teor

teor de Mg^{2+} , sendo o Al^{3+} tolerável.

A TRE apresenta acidez fraca, teores altos de $C\%$, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , tendo teor tolerável de Al^{3+} .

Os resultados das análises granulométricas dos solos, assim como o seu conteúdo de umidade, estão apresentados na Tabela 2.

Segundo estes dados, a classificação textural dos solos é a seguinte:

AQ : Areia
PVls : Franco-Arenoso
LR : Argilo-Limoso
PVp e TRE : Argilosos.

Os solos com essas classes texturais, devem apresentar as seguintes propriedades

AQ : baixa água disponível para as plantas e excessiva drenagem interna.
PVls: baixa água disponível para as plantas, e excessiva drenagem interna.
LR : alta quantidade de água disponível para as plantas, e drenagem interna suave.
PVp : alta quantidade de água disponível para as plantas, e de suave a pobre drenagem interna.

Tabela 1. Análise química dos solos.

Solo	pH	C.Org. %	Teor. trocável em mEq/100 g de terra			
			K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺ H ⁺
AQ	5,1	0,12	0,03	0,21	0,07	0,28 2,80
PVls	4,8	0,33	0,08	0,48	0,22	1,00 4,24
LR	5,1	2,16	0,13	5,24	2,16	0,16 6,08
PVp	5,4	1,50	0,30	3,86	1,91	0,24 5,44
TRE	5,5	1,44	0,75	4,36	1,58	0,08 5,60

Tabela 2. Análise granulométrica e umidade dos solos.

Solo	Análise mecânica (%), Pipeta, Calgon.				Umidade (%)
	Areia	Limo	Argila		
			< 0,002	Disp. em H ₂ O	
AQ	94,4	2,1	3,1	1,5	0,1
PVls	81,7	10,4	7,9	2,9	0,1
LR	19,4	37,5	43,1	28,8	4,8
PVp	17,6	27,7	54,7	33,1	2,0
TRE	23,6	26,7	49,7	24,4	2,0

TRE : alta quantidade de água disponível para as plantas, e de suave a pobre drenagem interna.

4.2. Análises Químicas para Fósforo em Solo

4.2.1. Fósforo Solúvel

Também é chamado de fósforo "disponível", o qual não é muito correto, já que a "disponibilidade" dada por um extrator nem sempre é igual a quantidade disponível para a planta, pois a quantidade extraída por um método depende de muitas variáveis.

Os valores encontrados pelos diferentes métodos de análise propostos, estão na Tabela 3.

Levando em consideração os resultados do método de análise para Fósforo Solúvel do IAC (CATANI *et alii*, 1955), e os Padrões de Fertilidade de Solo do Instituto Agrônomo, Campinas, é possível classificar estes solos, segundo o teor de Fósforo Solúvel, na forma seguinte: AQ e LR, teores muito baixos; PVls e PVp, teores médios e TRE, teor alto de fósforo solúvel.

Independentemente de considerações posteriores, na AQ o extrator mais enérgico foi o de Bray P-2 (Gráfico 1),

seguido dos de Olsen, Mehlich, Bray P-1 e IAC, apresentando -se diferença estatística significativa ao nível de 1% entre todos os métodos, mas não entre os métodos de Mehlich e Bray P-1.

É de se notar, que na AQ o método de Olsen ocupou o segundo lugar. Isso pode ser devido a que, na AQ, tem-se um teor de argila muito baixo, pelo qual as interferências fotolorimétricas são quase nulas.

No PVls, o extrator mais enérgico foi o de IAC (Gráfico 1), o qual não apresentou diferença significativa com o de Mehlich. A continuação, em ordem decrescente, vem o de Bray P-2, Olsen, e por último o de Bray P-1 como o mais fraco.

No LR, o extrator mais eficiente foi o de Bray P-2 (Gráfico 1), seguindo em ordem decrescente os de Bray P-1, Mehlich, IAC e Olsen. Apresentou-se diferença estatisticamente significativa ao nível de 1% de probabilidade entre todos os métodos.

No PVp, o extrator mais enérgico foi o de Mehlich (Gráfico 1), seguindo em ordem decrescente os de Bray P-2, IAC e Bray P-1, os quais não apresentaram diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade, e por último o de Olsen como o mais fraco.

Na TRE (Gráfico 1), o extrator mais enérgico

Tabela 3. Fósforo solúvel obtido por diferentes métodos de análise, para cinco solos do Estado de São Paulo.

Método	S o l o s				
	AQ	PVls	LR	PVp	TRE
	ppm P				
IAC	1,17 a	8,82 a	2,91 a	14,38 a	20,33 a
Mehlich	2,23 b	8,80 a	3,90 b	16,11 b	18,75 b
Olsen	3,45 c	6,01 b	0,26 c	7,85 c	9,66 c
Bray P-1	1,83 b	4,00 c	15,16 d	13,90 a	16,25 d
Bray P-2	4,95 d	6,90 d	17,00 e	14,90 d	19,34 b
D.M.S. (1%)	0,46	0,39	0,50	0,49	0,61
F	401,35 **	1031,25 **	8802,38 **	1645,26 **	1846,92 **
C.V. (%)	4,00	1,34	1,52	0,87	0,87

Em cada série de valores, os seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 1% pelo teste de Tukey.

GRÁFICO 1 : Fósforo Solúvel nos diferentes solos, por diferentes métodos de análise.

foi o do IAC, seguido dos de Mehlich e Olsen, os quais não apresentaram entre eles diferença estatisticamente significativa ao nível de 1% de probabilidade, seguido de Bray P-1 e por último Olsen como o mais fraco.

Em resumo tem-se o seguinte para cada solo:

AQ : Bray P-2 > Olsen > Mehlich = Bray P-1 > IAC;

PVls: IAC = Mehlich > Bray P-2 > Olsen > Bray P-1;

LR : Bray P-2 > Bray P-1 > Mehlich > IAC > Olsen;

PVp : Mehlich > Bray P-2 > IAC = Bray P-1 > Olsen;

TRE : IAC > Bray P-2 = Mehlich > Bray P-1 > Olsen.

Dos resultados anteriores pode-se perceber que, de forma geral, os métodos que apresentaram maior poder extrator, são aqueles com soluções de ácidos fortes (IAC, Mehlich), e o que usa uma mistura de fluoreto e ácido diluído (Bray P-2).

Os métodos de Bray P-1 e Bray P-2, mostraram-se eficientes, sendo as soluções extratoras relativamente límpidas. Estes métodos apresentam fluoreto de amônio nas soluções extratoras, e o íon fluoreto pode interferir no desen-

volvimento da cor na reação do azul de Molibdênio, como mostra o trabalho de KURTZ (1942); tal fato também foi lembrado por JACKSON (1970). BIASI (1978), verificou em dois solos de Santa Catarina, que a adição de ácido bórico aumentou o teor de P de 2% a 4%. Em vista das citações anteriores, é aconselhável a adição de ácido bórico 0,8 M, nos métodos que usam fluoreto de amônio no extrator, aumentando as vantagens dos mesmos.

O método de CATANI *et alii*, ou IAC, apresentou resultados muito bons, justificando o seu uso como análise de rotina no IAC. Apresentou solução extratora límpida, adequada relação solo:extrator, e fácil metodologia.

O método de Mehlich apresentou resultados bons, solução extratora límpida, adequada relação solo:extrator, e facilidade no trabalho de laboratório.

O método de Olsen *et alii*, foi o que apresentou maiores problemas. Apresentou solução extratora amarelada, por dispersão de argila e matéria orgânica, sendo isto um grande inconveniente na determinação fotocolorimétrica do P pelo método do azul de molibdênio, já que não se pode interpor adequadamente os dados experimentais dos solos, na curva padrão, pois o intervalo de absorção de luz nos dois casos, é diferente. Por outro lado, os carvões testados, necessários para a floculação da maioria da argila e matéria orgânica, apresentam fósforo em maior ou menor quantidade, pelo qual de-

ve-se lavar previamente com solução de bicarbonato, com o qual o fósforo é eliminado, mas não se pode ter certeza de que posteriormente esse carvão não irá absorver parte do P contido na solução extratora. Um outro problema deste método, é a efervescência que acontece quando são misturadas a solução extratora e o reativo sulfomolibdico, o qual pode apresentar problemas. Por último, de não ser neutralizada, e acidificada a solução para o uso fotolorimétrico de uma forma precisa, corre-se o risco de que a cor desenvolvida com o reativo sulfomolibdica, não seja estável com o tempo, o qual também é fonte de erros.

De todo o considerado anteriormente, pode-se separar os extratores usados no presente trabalho, em ordem decrescente segundo a sua importância, an seguinte forma:

- a.- IAC e Mehlich;
- b.- Bray P-2;
- c.- Bray P-1;
- d.- Olsen *et alii*.

4.2.2. Fósforo Orgânico

Na Tabela 4 tem-se os valores obtidos para o fósforo orgânico de cada solo, com os dois métodos usados.

Tabela 4. Fósforo orgânico obtido por diferentes métodos de análise, para cinco solos do Estado de São Paulo.

Método	S o l o s			
	AQ	PVls	LR	PVp TRE
	ppm P			
S e W	29,00 a	62,67 b	849,30 c	416,00 d 946,33 e
M. et alii	29,67 a	63,00 b	846,67 c	416,00 d 945,67 e
D.M.S. (1%)	3,36	3,15	32,32	8,23 16,03
F	0,496 n.s.	0,139 n.s.	0,195 n.s.	0,000 n.s. 0,020 ^{n.s.}
C.V. (%)	3,52	1,54	1,18	0,61 0,26

Em cada série de valores, os seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 1% pelo Teste de Tukey.

Observa-se uma tendência geral em quanto conteúdo de C.Org % dos solos (Tabela 1), e a quantidade de Fósforo Orgânico determinada nos mesmos.

Observa-se no Gráfico 2, que a maior quantidade de P orgânico se apresenta na TRE, e a menor na Areia Quartzosa.

Os dois métodos usados não apresentaram diferença estatisticamente significativa para nenhum dos solos.

As quantidades de Fósforo Orgânico em cada solo, acompanham de certa forma as médias de fósforo solúvel nos mesmos (Gráfico 1), entre os cinco solos e para os cinco métodos, sendo que a única diferença notável se apresenta no LR, o qual tem maior conteúdo de P orgânico que o PVp, mas apresenta menor quantidade de P solúvel (Tabela 3) do que este.

4.2.3. Fósforo Total

Os resultados obtidos para cada solo, pelos três métodos de análise usados, estão apresentados na Tabela 5.

Pode-se observar que, enquanto que os métodos de Sommers e Nelson e de Jackson apresentaram aproximadamente os mesmos valores (Gráfico 3), tendo diferença estatisticamente significativa somente na TRE, o método de Catani e Bata-

GRÁFICO 2 : Fósforo Orgânico nos diferentes solos, por diferentes métodos de análise.

glia apresentou resultados muito inferiores aos anteriores, com uma alta diferença significativa ($P < 0,01$) com os primeiros.

Por outro lado, pode-se notar nos três métodos (Gráfico 3), que a sequência de valores para o P total dos diferentes solos, é a mesma, ou seja: $TRE > LR > PVp > PVls > AQ$. Esta sequência é similar a do fósforo orgânico nos diferentes solos.

Os resultados obtidos pelos dois primeiros métodos, apresentam concordância com os valores obtidos para o P orgânico, no entanto, o método de Catani apresenta resultados muito inferiores aos do P orgânico, o qual não é possível, já que o P total do solo é a soma dos valores de P orgânico e P inorgânico,

Na Tabela 6, tem-se as porcentagens de Fósforo Solúvel, segundo os métodos empregados para analisar as quantidades de P solúvel e de P total. De uma forma geral, observa-se que a tendência das porcentagens é a seguinte:

$$PVls \geq AQ > PVp > TRE > LR$$

Isto nos indica que um solo, por exemplo o AQ e o PVls apesar de ter muito pouco fósforo disponível em termos absolutos, apresenta uma alta porcentagem do mesmo.

Tabela 5. Fósforo total obtido por diferentes métodos de análise, para cinco solos do Estado de São Paulo.

Métodos	S o l o s			
	AQ	PVls	LR	PVp TRE
	ppm P			
S e N	35,67 a	90,33 a	939,67 a	540,33 a 1120,00 a
Jackson	36,06 a	89,00 a	941,00 a	541,33 a 1134,33 b
C e B	19,00 b	68,33 b	269,67 b	230,33 b 380,33 c
D.M.S. (1%)	11,23	6,56	7,81	10,96 13,82
F	30,01 **	141,75 **	98423,44 **	10712,34 ** 39014,98 **
C.V. (%)	8,81	1,88	0,26	0,59 0,37

Em cada série de valores, os seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 1% pelo Teste de Tukey.

GRÁFICO 3: Fósforo Total nos diferentes solos, por diferentes métodos de análise.

Tabela 6. Porcentagem de fósforo solúvel (Ps) segundo o método de análise empregado, e com referência ao método empregado para fósforo total (Pt).*

Método para Pt		SOMMERS E NELSON					JACKSON				
Método para Ps		Solos									
		AQ	PVls	LR	PVp	TRE	AQ	PVls	LR	PVp	TRE
		% Ps									
IAC		3,28	9,76	0,31	2,66	1,82	3,24	9,91	0,31	2,66	1,79
Mehlich		6,25	9,74	0,42	2,99	1,67	6,18	9,89	0,41	2,98	1,65
Olsen		9,67	6,65	0,03	1,45	0,86	9,56	6,75	0,03	1,45	0,85
Bray P-1		5,13	4,43	1,61	2,58	1,45	5,07	4,49	1,61	2,57	1,43
Bray P-2		13,87	7,64	1,81	2,76	1,73	13,72	7,75	1,81	2,75	1,70

* O cálculo com o método de CATANI e BATAGLIA (1968) para Pt, não foi colocado, por ser a quantidade de Pt menor a de P org.

Por outra parte, solo com bastante quantidade absoluta de fósforo solúvel, como a TRE (Tabela 3), apresenta uma porcentagem muito baixa em relação aos anteriores.

Na Tabela 7, apresentam-se os dados referentes às porcentagens de Fósforo Orgânico, com referência aos métodos usados para determinar o Fósforo Total e o Fósforo Orgânico.

A tendência geral é a seguinte, para os diferentes solos estudados:

$$LR > TRE > AQ > PV_P > PVls$$

Ve-se que o LR, o qual apresenta a maior quantidade de C. Org. % (Tabela 1), apresenta também a maior porcentagem de P orgânico. No entanto, a AQ, a qual têm a menor quantidade de C. Org. %, não é a que apresenta menor porcentagem de P orgânico.

4.3. Ensaio em Casa de Vegetação

4.3.1. Feijoeiro

Nas Figuras 1 e 2, tem-se o aspecto das plantas de feijoeiro, aos 18 e 40 dias após o plantio, respectivamente, para os diferentes solos e os diferentes níveis de fósforo adicionado ao solo.

Tabela 7. Porcentagem de fósforo orgânico (Po) segundo o método de análise empregado, e com referência ao método empregado para fósforo total.*

Método p/ Pt	SOMMERS E NELSON					JACKSON				
	Solos									
Método para Po	AQ	PVls	LR	PVp	TRE	AQ	PVls	LR	PVp	TRE
	% Po									
S e W.	81,30	69,38	90,38	77,08	84,79	80,37	70,42	90,38	76,85	83,71
M. et alii	83,18	69,74	90,10	77,08	84,43	82,23	70,79	89,98	76,85	83,37

* O cálculo com o método de CATANI e BATAGLIA (1968) para Pt não foi colocado, por ser a quantidade de Pt menor a de P org.

Figura 1. Feijoeiro em casa de vegetação aos 18 dias após o plantio, para diferentes níveis de fósforo adicionado ao solo, e para diferentes solos.

TRE

PV_p

LR

PV_{ls}

AQ

.53.

P₀ P₁ P₂ P₃

Figura 2. Feijoeiro em casa de vegetação aos 40 dias após o plantio, para diferentes níveis de fósforo adicionado ao solo, e para diferentes solos.

Na Tabela 8, tem-se os resultados de Matéria Vegetal Seca, e de Fósforo Total na MVS, obtido após 60 dias de plantio os quais podem ser visualizados nos Gráficos 4 e 5.

Os dados desta Tabela, observa-se que a quantidade de Matéria Vegetal Seca, e de Fósforo Total, aumentou com a quantidade de fósforo adicionado ao solo, para todos os solos.

Quanto aos níveis de fósforo adicionado ao solo, e a quantidade de matéria vegetal seca produzida em cada um dos diferentes solos, tem-se as seguintes sequência:

$$P_0 \text{ e } P_1 : TRE \geq PVp > LR > PVls = AQ$$

$$P_2 \text{ e } P_3 : PVp = TRE > LR > PVls = AQ$$

Encontrou-se diferença estatística significativa, ao nível de 5% de probabilidade, entre as quantidades de MVS produzidas aos níveis P_0 e P_1 de fósforo adicionado, em todos os solos. No PVls e LR, apresentou-se diferença estatística significativa entre todos os níveis de P adicionado. Na AQ e PVp, não se apresentou diferença estatística significativa na quantidade de MVS produzida nos níveis P_2 e P_3 de

Tabela 8. Matéria Vegetal Seca, e fósforo total na MVS, obtido em feijoeiro cultivado em cinco solos do Estado de São Paulo, a diferentes níveis de fósforo adicionado (Pa).

Pa (ppm)	Solos											
	AQ		PVls		LR		PVP		TRE			
	MVS (g)	Pt (mg)	MVS (g)	Pt (mg)	MVS (g)	Pt (mg)	MVS (g)	Pt (mg)	MVS (g)	Pt (mg)		
0	0,63a1	0,30a1	0,78a1	0,42a1	1,37a2	0,65a2	3,62a3	1,99a3	6,30a4	4,91a4	4,91a4	
10,92	2,02b1	1,39b1	2,49b1	1,86b1	4,03a2	2,99b2	6,70b3	3,94b3	7,05b3	5,76b4	5,76b4	
21,84	3,30c1	2,24c1	3,85c1	2,98c2	6,43a2	5,28c3	7,93c3	5,31c3	7,62b3	6,36c4	6,36c4	
32,76	3,93c1	2,93d1	4,79d1	3,90d2	7,53a2	6,35d2	8,63c3	6,44c3	8,30c3	7,05d4	7,05d4	
Entre níveis para cada solo												
DMS (5%)	0,85	0,40	0,68	0,20	0,78	0,45	0,64	1,72	0,69	0,50	0,50	
C.V. (%)	11,25	7,43	2,63	2,94	5,26	3,87	3,11	12,74	3,00	2,70	2,70	
F	60,57	165,65	133,80	1129,44	249,11	642,67	232,49	25,88	23,95	68,41	68,41	
Entre solos para cada nível												
Pa (ppm)	MVS				Pt				F			
	DMS (5%)	CV(%)	F	DMS(5%)	CV(%)	F	CV(%)	F	F			
0	0,46	5,69	592,16	0,29	0,15	938,75	0,15	938,75	938,75			
10,92	0,88	6,23	151,00	0,48	4,74	285,94	4,74	285,94	285,94			
21,84	0,68	3,67	215,31	0,47	3,36	146,77	3,36	146,77	146,77			
32,76	0,87	4,16	123,14	0,54	3,17	243,75	3,17	243,75	243,75			

Em cada série de valores verticais, os seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Em cada série de valores horizontais, os seguidos pelo mesmo número não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

GRÁFICO 4: Matéria Vegetal Seca produzida pelo Feijoeiro para diferentes níveis de Fósforo Adicionado, e nos diferentes solos.

fósforo adicionado. Na TRE, não se apresentou diferença estatística significativa entre as quantidades de MVS produzida aos níveis P_1 e P_2 de fósforo adicionado ao solo.

Com referência as quantidades de MVS produzidas nos diferentes solos, visualizado no Gráfico 4, verificou-se que, para todos os níveis de P adicionado, não se encontrou diferença estatística significativa entre as quantidades de MVS produzida na AQ e no PVls. Encontrou-se diferença estatística significativa, para a MVS produzida ao nível P_0 , entre os solos PVp e TRE; ao nível P_3 , não se encontrou diferença estatística significativa, nas quantidades de MVS produzida nesses dois solos; aos níveis P_1 e P_2 , encontrou-se diferença estatística significativa entre as quantidades de MVS produzidas nos solos LR e PVp, mas não entre o PVp e o TRE.

Para o Fósforo Total na MVS de Feijoeiro, tem-se a seguinte sequência para os diferentes níveis de P adicionado ao solo:

$$P_0 \text{ e } P_1 : TRE > PVp > LR > PVls = AQ$$

$$P_2 \text{ e } P_3 : TRE > PVp = LR > PVls > AQ$$

Observou-se diferença significativa nas quantidades de P Total na MVS, entre todos os solos, com exceção dos solos AQ e PVls para os níveis de P_0 e P_1 de fósforo adicionado, e entre o P total na MVS no LR e no PVp nos níveis de P aplicado P_2 e P_3 .

GRÁFICO 5: Fósforo Total na M.V.S. do Feijoeiro, para diferentes níveis de Fósforo Adicionado, e nos diferentes solos.

Para cada solo em particular, observou-se diferença significativa na quantidade de P total produzido nos diferentes níveis de P adicionado, exceto entre os níveis P_2 e P_3 do PVp.

Nas Tabelas 9, 10 e 11, se apresentam os resultados dos cálculos de Produção Relativa, com referência a máxima produção obtida em cada solo, e com referência máxima produção de MVS de todos os solos. Também estão dados os resultados dos cálculos da porcentagem de utilização eficiente do Fósforo adicionado ao solo, e os incrementos na Produção de MVS.

Os cálculos foram feitos da forma seguinte:

$$PRS (\%) = \frac{MVS (P_n)}{MVS (P_3)} \times 100$$

sendo,

$n = 0, 1$ ou 2

$MVS (P_3) =$ Matéria Vegetal Seca ao nível P_3 para cada solo.

$$PRT (\%) = \frac{MVS (P_n)}{MVS (m\acute{a}xima)}$$

sendo,

$n = 0, 1, 2$ ou 3

$MVS (m\acute{a}xima) =$ Máxima produção de MVS para todos os solos

Tabela 9. Produção relativa (PRS) de MVS no Feijoeiro, com referência a máxima produção obtida para cada solo.

P Adicionado (ppm)	S o l o s			
	AQ	PVls	LR	PVp TRE
	PRS (%)			
0	16,03	16,28	18,19	43,30 75,90
10,92	51,40	51,98	53,78	80,14 84,94
21,84	83,97	80,38	86,06	94,86 91,81
32,76	100,00	100,00	100,00	100,00 100,00

Tabela 10. Produção relativa (PRT) de MVS no Feijoeiro, com referência a máxima produção obtida em todos os solos.

P adicionado (ppm)	S o l o s			
	AQ	PVls	LR	PVP
	PRT (%)			
0	7,54	9,33	16,39	43,30
10,92	24,16	29,78	48,44	80,14
21,84	39,47	46,05	77,51	94,86
32,76	47,01	57,30	90,07	100,00
				75,36
				84,33
				91,15
				99,28

Tabela 11. Porcentagem de Utilização Eficiente (UE%) e Incremento na Produção (Δ Pr) no feijoeiro.

Níveis de P adicionado	S o l o s									
	AQ		PVLs		LR		PVP		TRE	
	UE(%)	Δ Pr	UE(%)	Δ Pr	UE(%)	Δ Pr	UE(%)	Δ Pr	UE(%)	Δ Pr
P ₁	2,45	220,63	4,40	212,93	7,14	195,62	5,95	85,08	3,11	11,90
P ₂	2,20	63,39	3,91	54,62	7,10	60,00	5,07	18,36	2,66	8,09
P ₃	1,99	19,09	3,54	24,42	5,80	16,20	4,53	5,42	2,61	8,92

AQ : P₁ = 43,68 mg; P₂ = 87,36 mg; P₃ = 131,04 mg
PVP; PVLs; LR : P₁ = 32,76 mg; P₂ = 65,52 mg; P₃ = 98,28 mg
TRE : P₁ = 27,3 mg; P₂ = 54,6 mg; P₃ = 81,9 mg.

$$U.E. (\%) = \frac{P_t(P_n) - P_t(P_0)}{P_n (Adic.)} \times 100 \quad (1)$$

sendo que:

$P_t(P_n)$ = Fósforo Total na MVS aos níveis de

$P_n = P_1, P_2, P_3;$

$P_t(P_0)$ = Fósforo Total na MVS ao nível P_0 de P adicionado;

$P_n (Adic.)$ = Fósforo Adicionado ao solo, em mg, aos níveis de $P_n = P_1, P_2, P_3$.

Na Tabela 9, observa-se que para os solos AQ, PVls e LR, tem-se aproximadamente a mesma produção relativa para os diferentes níveis de P adicionado ao solo. No entanto, a TRE apresenta uma alta produção relativa ao nível P_0 , mas é menor ao nível P_2 , com referência ao PVp.

Na Tabela 10, pode-se observar que adicionando P ao solo, até os níveis P_3 , na AQ e no PVls, não foi alcançada a produção obtida ao nível de P_0 da TRE, a qual nos indicaria que para alcançar a produção mínima da TRE, é necessário adicionar uma quantidade muito alta de P ao solo, no caso da AQ e no PVls, um nível P_2 para o LR, e um nível P_1 para o PVp.

Pode-se dizer também que a TRE pode dar uma produção bastante alta de MVS, com referência aos solos AQ, PVls e LR, sem aplicar nenhuma quantidade de adubo fosfatado.

Também pode-se observar que o solo TRE é o

mais fértil com referência ao Fósforo, e a AQ é o menos fértil.

Na Tabela 11, observa-se que a Utilização Eficiente (UE) do adubo pela planta, foi muito baixa, chegando no máximo a 7,1%. Também observa-se que, na AQ, no entanto, apresenta baixo teor de P solúvel (Tabela 3), e apresentou pouca argila ou Matéria Orgânica, que poderiam fixar o P no solo, a Utilização Eficiente é muito baixa, deduzindo-se que não é só o P adicionado que vai aumentar a Utilização Eficiente, mas que deve-se levar em conta todo o conjunto de fatores que regulam o sistema Solo-Planta.

No caso da TRE, o solo com maior quantidade de P solúvel (Tabela 3), apresentou-se o mesmo fenômeno que na AQ, ou seja, que a quantidade de P aproveitado pelo feijoeiro foi muito pouca.

Observa-se que os incrementos na produção, se dão em maior quantidade nos solos com menor conteúdo de P solúvel (Tabela 3), sendo que os incrementos na produção relativa, à medida que se incrementa a quantidade de P adicionado ao solo, diminuem com o aumento na quantidade de P solúvel no solo.

4.3.2. Milho

Nas Figuras 3, 4 e 5, tem-se o aspecto das plantas de Milho aos 20 e 35 dias após o plantio, para diferentes níveis de fósforo aplicados ao solo, e para diferentes solos.

Na Tabela 12, tem-se os resultados de Matéria Vegetal Seca e Fósforo Total na MVS, obtidos aos 60 dias após o plantio, no experimento efetuado com Milho em casa de vegetação.

Nos dados dessa Tabela, observa-se que a quantidade de Matéria Vegetal Seca, e de Fósforo Total na MVS, aumentou com a quantidade de Fósforo Aplicado ao solo, para os cinco solos.

Quanto aos níveis de Fósforo Adicionado ao solo, e a quantidade de Matéria Vegetal Seca produzida em cada um dos diferentes solos (Gráfico 6), tem-se as seguintes sequências:

$$P_0, P_1 \text{ e } P_2 : TRE > PVp > LR > PVls = AQ$$

$$P_3 : TRE > PVp > LR = PVls = AQ$$

Levando em consideração o nível P_0 , observa-se, que a sequência anterior tem a mesma tendência no referente ao conteúdo dos solos em K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} (Tabela 1), como aconteceu no Feijoeiro.

P_0 P_1 P_2 P_3

Figura 3. Milho em casa de vegetação aos 20 dias após o plantio, para diferentes níveis de Fósforo Adicionado ao Solo e para diferentes solos.

Figura 4. Milho em casa de vegetação aos 35 dias após o plantio, em diferentes solos, e para os níveis P_0 e P_1 de Fósforo Adicionado ao Solo.

Figura 5. Milho em casa de vegetação aos 35 dias após o plantio, em diferentes solos, e para os níveis P_2 e P_3 de Fósforo Adicionado ao Solo.

Tabela 12. Matéria Vegetal Seca e Fósforo Total na MVS, obtido em Milho cultivado em cinco solos do Estado de São Paulo, a diferentes níveis de Fósforo Adicionado (Pa).

Pa (ppm)	Solos									
	AQ		FVIs		IR		FV1		TRE	
	MVS (g)	Pt (mg)	MVS (g)	Pt (mg)	MVS (g)	Pt (mg)	MVS (g)	Pt (mg)	MVS (g)	Pt (mg)
0	0,97a1	0,36a1	1,48a1	0,56a2	2,10a2	0,84a3	5,78a3	2,83a4	7,91a4	3,60a5
10,92	2,21b1	0,95a1	3,06b1	1,32b2	4,18b2	1,80b3	6,22a3	3,17a4	9,50a4	4,56a5
21,84	3,29c1	1,55b1	4,19b1	1,97c2	5,28b2	2,48c3	7,17c3	3,80b4	12,60b4	6,30b5
32,76	4,52d1	2,35c1	5,39c1	2,70d1	6,50c1	3,38d1	8,31c2	4,49c2	13,11b3	6,82b3

Entre níveis para cada solo

DMS (5%)	0,52	0,64	1,57	0,26	1,81	0,45	0,69	0,37	2,34	1,01
CV (%)	6,06	16,24	14,81	5,52	13,11	6,79	3,23	3,58	7,06	6,10
F	68,41	34,67	27,12	224,89	21,66	120,70	53,95	80,33	23,37	46,55

Entre solos para cada nível

Pa (ppm)	MVS			Pt		
	DMS (5%)	CV (%)	F	DMS (5%)	CV (%)	F
0	0,54	4,69	676,34	0,15	2,82	2175,00
10,92	1,48	9,24	83,78	0,19	2,53	1332,00
21,84	1,65	7,96	109,28	0,41	3,98	4824,78
32,76	1,71	7,13	85,44	1,31	10,44	40,89

Em cada série de valores verticais, os seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Em cada série de valores horizontais, os seguidos pelo mesmo número não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

GRAFICO 6: Matéria Vegetal Seca produzida pelo Milho, para diferentes níveis de Fósforo Adicionado, e nos diferentes solos.

Encontrou-se diferença significativa entre as quantidades de matéria vegetal seca produzida entre os solos LR, PVp e TRE, para todos os níveis de P adicionado.

Não se encontrou diferença significativa entre as quantidades de MVS produzida e os solos AQ e PVls, para to dos os níveis de P adicionado. Encontrou-se diferença significativa entre as quantidades de MVS produzida e os solos PVls e LR, para todos os níveis de P adicionado, menos para P_3 .

Na AQ, apresentou-se diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, entre a MVS produzida a todos os níveis de P adicionado ao solo. No PVls, não se apresentou diferença significativa entre a MVS produzida nos níveis P_1 e P_2 , apresentando-se entre os outros níveis. No LR apresentou-se a mesma situação que no PVls. No PVp e na TRE, não se apresentou diferença significativa entre a MVS produzida nos níveis P_0 e P_1 de P adicionado, para cada solo, no entanto, no PVp, apresentou-se diferença entre os níveis P_2 e P_3 , além disto, não se apresentou diferença significativa entre a MVS produzida nos níveis P_2 e P_3 na TRE, tendo só diferença significativa entre os níveis P_1 e P_2 .

Para o Fósforo Total na MVS de Milho visualizando no Gráfico 7, tem-se a seguinte sequência para os diferentes níveis de P adicionado ao solo:

GRÁFICO 7: Fósforo Total na M.V.S. do Milho, para diferentes níveis de Fósforo Adicionado, e nos diferentes solos.

$P_0, P_1 \text{ e } P_2 : TRE > PVp > LR > PVls > AQ;$

$P_3 : TRE > PVp > LR = PVls = AQ$

Observou-se diferença significativa entre o P total na MVS, entre todos os solos e a todos os níveis de P adicionado, menos ao nível P_3 , no qual não se observou diferença significativa entre os solos AQ, PVls e LR.

Para cada solo em particular, observaram-se diferenças significativas entre as quantidades de P total na MVS, e todos os níveis de P adicionado, no PVls e no LR. Na AQ, PVp e TRE, não se observou diferença significativa entre as quantidades de P total na MVS, para os níveis P_0 e P_1 , também não houve entre os níveis P_2 e P_3 da TRE. Foram significativas as diferenças entre o P total nos níveis restantes de P adicionado para os três solos anotados.

Nas Tabelas 13, 14 e 15, se apresentam os resultados dos cálculos de Produção Relativa, com referência a máxima produção obtida em cada solo, e com referência a máxima produção de MVS entre todos os solos. Também estão os resultados dos cálculos de percentagem e os incrementos na produção de MVS para cada solo. Os cálculos foram feitos de maneira similar que para Feijoeiro.

Na Tabela 13, observa-se que os solos AQ e PVls apresentam a mesma tendência no referente a produção relativa de MVS, no entanto, não se observa o mesmo nos outros solos,

Tabela 13. Produção Relativa (PRS) de MVS no Milho, com referência a máxima produção obtida para cada solo.

P Adicionado (ppm)	S O L O S			
	AQ	PVls	LR	PVP
				TRE
			PRS (%)	
0	21,46	27,46	32,31	69,55
				60,34
10,92	48,89	56,77	64,31	74,85
				72,46
21,84	72,79	72,96	81,23	86,28
				96,11
32,76	100,00	100,00	100,00	100,00
				100,00

sendo que o PVp é o solo que apresenta a maior produção relativa para os níveis P_0 e P_1 , e a TRE para o P_2 . O LR apresenta-se intermédio entre todos.

Na Tabela 14 observa-se que a maior produção foi conseguida na TRE ao nível de P_3 . Observa-se que a AQ, o PVls e o LR, não chegam a alcançar a produção mínima de MVS na TRE, sendo que o PVp chega a essa produção só ao nível P_3 de P adicionado ao solo. Então pode-se deduzir que, os solos AQ, PVls e LR, precisam de uma grande quantidade de P adicionado para dar quantidades pouco satisfatórias, de MVS, em relação a TRE.

Na Tabela 15 observa-se que, de forma similar ao Feijoeiro, no Milho a utilização eficiente foi muito baixa e bastante menor que no Feijoeiro.

Observa-se também, que o PVp foi o solo no qual o Milho teve menor utilização eficiente, sendo que no TRE foi a maior, e os solos PVls e LR apresentaram a mesma tendência entre eles.

Enquanto aos incrementos na Produção, observa-se que são muito menores aos obtidos para Feijoeiro, sendo que o solo que incrementou em maior quantidade a sua produção de MVS foi a AQ, no entanto essa quantidade, em termos absolutos, represente menos da metade do obtido na TRE para o mesmo nível de P adicionado.

Tabela 14. Produção Relativa (PRT) de MVS no Milho, com referência a máxima produção obtida em todos os solos.

P adicionado (ppm)	S o l o s			
	AQ	PVls	LR	Pvp TRE
			PRT (%)	
0	7,40	11,29	16,02	44,09 60,34
10,92	16,86	23,34	31,88	47,44 72,46
21,84	25,10	31,96	40,27	54,69 96,11
32,76	34,48	41,11	49,58	63,39 100,00

Tabela 15. Porcentagem de Utilização Eficiente (UE%), e Incremento na Produção (ΔPr) no milho.

Níveis de P adicionado	S o l o s							
	AQ		PVLs		LR		PVP	
	UE(%)	ΔPr	UE(%)	ΔPr	UE(%)	ΔPr	UE(%)	ΔPr
P ₁	1,35	127,84	2,32	106,76	2,93	99,05	1,04	107,61
								3,52 120,10
P ₂	1,36	48,87	2,15	36,93	2,50	26,32	1,48	115,27
								4,95 132,63
P ₃	1,59	37,39	2,18	28,64	2,58	23,11	1,69	115,90
								3,93 104,05

AQ : P₁ = 43,68 mg; P₂ = 87,36 mg; P₃ = 131,04 mg;

PV_p; PVLs; LR : P₁ = 32,76 mg; P₂ = 65,52 mg; P₃ = 98,28 mg;

TRE : P₁ = 27,3 mg; P₂ = 54,6 mg; P₃ = 81,9 mg.

Vemos que os incrementos na produção de MVS no Milho, decrescem à medida que aumenta a quantidade absoluta de P solúvel nos solos (Tabela 3), e não guardando nenhuma correlação com referência ao P orgânico ou P total do solo, em termos de quantidades absolutas.

4.4. Correlações

4.4.1. Entre Matéria Vegetal Seca e Fósforo Solúvel no Solo, e entre o Fósforo Total na MVS e o Fósforo Solúvel no Solo

4.4.1.1. Feijoeiro

Na Tabela 16, tem-se os coeficientes de correlação obtidos entre a MVS produzida no feijoeiro, nos diferentes solos, e o P solúvel obtido por diferentes métodos de análise, para os mesmos solos anteriores.

Observa-se que a sequência de ordens de grandeza entre os coeficientes de correlação seria a seguinte segundo os métodos usados:

Bray P-1 < Olsen < Bray P-2 < Mehlich < IAC

Todos os coeficientes de correlação foram altamente significativos ($P < 0,01$), e tem relação estreita com

os valores do Teste de F dado na mesma Tabela.

Quando comparados estes valores, com os resultados das análises de P solúvel no solo (Tabela 3), podem-se fazer as seguintes observações: a ordem em que foram separados os diferentes extratores, segundo a sua capacidade extratora, não concorda exatamente com os resultados obtidos da correlação com a MVS produzida, já que, os métodos de IAC, e de Mehlich estão de acordo com a suposição de que, por ser os métodos que maior quantidade de P extraíram, deveriam ser os de melhor correlação. No entanto, o método de Bray P-1 não deu os resultados que poderiam ser esperados.

Os métodos que melhor resultado apresentaram nas correlações, são aqueles mais adequados para solos bastante ácidos, como os usados neste experimento, sendo que o método de Olsen *et alii*, mais adequado para solos alcalinos ou ligeiramente ácidos, deu o menor coeficiente de correlação.

Por outra parte, todos os métodos apresentaram boa correlação com a MVS, considerando os dados da literatura científica a respeito, os quais consideram como boa uma correlação significativa ao nível de 1%, com um valor maior do que 0,7 para r.

Na Tabela 16, também apresentam-se os resultados das correlações entre a quantidade de P total na MVS de Feijoeiro, e a quantidade de P solúvel extraído por diferen-

Tabela 16. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a Matéria Vegetal Seca e/ou o Fósforo Total na MVS no feijoeiro, e o Fósforo Solúvel do solo, obtido por diferentes métodos de análise.

Método de Análise	Matéria Vegetal Seca			Fósforo Total na MVS		
	r	F	S	r	F	S
IAC	0,92	67,09	**	0,90	52,90	**
Mehlich	0,90	53,61	**	0,86	35,44	**
Olsen	0,76	17,89	**	0,76	17,31	**
Bray P-1	0,73	14,71	**	0,66	10,11	**
Bray P-2	0,77	18,90	**	0,72	14,12	**

** significativo estatisticamente a 1% de probabilidade.

tes métodos de análise, para os cinco solos do Estado de São Paulo.

Nesta Tabela, observa-se que a sequência crescente das ordens de grandeza dos coeficientes de correlação, segundo os métodos de análise usados, é a seguinte:

Bray P-1 < Bray P-2 < Olsen < Mehlich < IAC

Observa-se, de forma similar à correlação com a MVS, que os melhores métodos são os do IAC e Mehlich, de forma similar com o discutido anteriormente.

Também pode-se notar que o método de Olsen, embora seja um dos métodos que menor quantidade de P solúvel extraiu, apresenta coeficiente de correlação superior aos métodos de Bray P-1 e P-2, os quais, de forma geral, extraíram maior quantidade de P dos solos.

Devido ao anterior, poderia-se considerar que os extratores usados por Mehlich e por Catani (IAC), são os melhores para se estabelecer correlação entre a MVS ou o P total na MVS de Feijoeiro, e a quantidade de P solúvel no solo.

4.4.1.2. Milho

Na Tabela 17, tem-se os coeficientes de correlação obtidos entre a MVS produzida pelo Milho com a quantidade de P solúvel extraído por diferentes extratores, assim co-

Tabela 17. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a Matéria Vegetal Seca e/ou o Fósforo Total na MVS, no milho, com o Fósforo Solúvel do Solo, obtido por diferentes métodos de análise.

Método de Análise	Matéria Vegetal Seca			Fósforo Total na MVS		
	r	F	s	r	F	s
IAC	0,93	87,00	**	0,93	81,31	**
Mehlich	0,94	90,16	**	0,94	100,42	**
Olsen	0,78	20,37	**	0,79	21,32	**
Bray P-1	0,75	16,73	**	0,74	16,02	**
Bray P-2	0,77	19,30	**	0,76	17,55	**

** significativo estatisticamente a 1% de probabilidade.

mo os coeficientes de correlação obtidos entre o P total na MVS de Milho, e o P solúvel do solo, extraído por diferentes métodos de análise.

Observa-se que tanto para a correlação com a MVS, quanto com o P total na MVS, os coeficientes de correlação cumprem com a seguinte ordem de grandeza:

$$\text{Bray P-1} < \text{Bray P-2} < \text{Olsen} < \text{IAC} < \text{Mehlich}$$

Observa-se que, de igual forma que para o Feijoeiro, os extratores que deram a melhor correlação da-se com os melhores métodos para o tipo de solo empregado no experimento.

Também observa-se que os métodos do IAC e Mehlich apresentam valores quase iguais, de igual forma que os métodos de Bray P-1, Bray P-2 e Olsen, apresentam valores muito próximos, mas diferem bastante os dois grupos entre si, pelo qual, no Milho, pode-se supor com maior certeza, que os métodos de Mehlich e IAC são os mais indicados.

4.4.2. Correlações entre Matéria Vegetal Seca e Fósforo Orgânico no Solo, e entre Fósforo Total na MVS e Fósforo Orgânico no Solo

4.4.2.1. Feijoeiro

Na Tabela 18, tem-se os coeficientes de correlação obtidos entre a MVS produzida pelo Feijoeiro, nos diferentes solos, e o Fósforo Orgânico obtido do solo por diferentes métodos de análise, assim como os coeficientes de correlação entre fósforo Total na MVS de Feijoeiro e Fósforo Orgânico do Solo.

Observa-se por esses resultados que, tanto o método de Saunders e Williams como o de Mehta *et alii* são equivalentes, já que apresentaram coeficientes de correlação similares.

Também cabe destacar que a correlação não foi tão significativa quanto com o P solúvel, pois os coeficientes de correlação são significativos só ao nível de 5% de probabilidade, sendo que para o P solúvel, além de ter-se valores absolutos mais altos, a significância é ao nível de 1% de probabilidade.

Do anterior, pode-se deduzir que o P orgânico não apresenta uma boa correlação com as plantas de Feijoeiro para o tipo de solos ácidos, e, em geral, com pouca matéria orgânica, empregados neste experimento.

Tabela 18. Coeficiente de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a Matéria Vegetal Seca e/ou o Fósforo Total na MVS de Feijoeiro, com o Fósforo Orgânico do Solo, obtido por diferentes métodos de análise.

Método de Análise	Matéria Vegetal Seca			Fósforo Total na MVS		
	r	F	s	r	F	s
S. e W.	0,69	11,62	*	0,68	10,94	*
M. <i>et alii</i>	0,69	11,61	*	0,68	10,91	*

* significativo estatisticamente a 5% de probabilidade.

4.4.2.2. Milho

Na Tabela 19, tem-se os coeficientes de correlação obtidos entre a MVS produzida pelo Milho, nos diferentes solos, e o Fósforo Orgânico do Solo obtido por diferentes métodos de análise, assim como os coeficientes de correlação entre Fósforo Total na MVS do Milho e Fósforo Orgânico do Solo.

Neste caso, valem as mesmas considerações que para o Feijoeiro, ressaltando que os valores absolutos para os coeficientes de correlação com a MVS do Milho são menores que os do Feijoeiro, e os valores absolutos com a P Total na MVS, são bem inferiores a os obtidos com Feijoeiro.

4.4.3. Correlações entre Matéria Vegetal Seca e Fósforo Total no Solo, e entre Fósforo Total na MVS e Fósforo Total no Solo

4.4.3.1. Feijoeiro

Na Tabela 20, tem-se os coeficientes de correlação obtidos entre a Matéria Vegetal Seca produzida pelo Feijoeiro, e o Fósforo Total do Solo obtido por diferentes métodos de análise, em ambos casos para os cinco solos em estudo, assim como também os coeficientes de correlação entre o Fósforo Total na MVS de Feijoeiro e o Fósforo Total do Solo.

Tabela 19. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a Matéria Vegetal Seca e/ou o Fósforo Total na MVS de Milho, com o Fósforo Orgânico do Solo, obtido por diferentes métodos de análise.

Método de Análise	Matéria Vegetal Seca			Fósforo Total na MVS		
	r	F	s	r	F	s
S. e W.	0,67	10,05	*	0,62	8,22	*
M. et alii	0,65	9,62	*	0,62	8,22	*

* significativo estatisticamente a 5% de probabilidade.

Tabela 20. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a Matéria Vegetal Seca e/ou o Fósforo Total na MVS de Feijoeiro, com o Fósforo Total do solo obtido por diferentes métodos de análise.

Métodos de Análise	Matéria Vegetal Seca			Fósforo Total na MVS		
	r	F	s	r	F	s
S.e N.	0,73	15,05	**	0,72	13,69	**
Jackson	0,74	15,50	**	0,72	14,15	**
C. e B.	0,84	30,63	**	0,81	24,43	**

** significativo estatisticamente a 1% de probabilidade.

Observa-se nesses dados que os valores absolutos dos coeficientes de correlação, tanto com o MVS como com o P Total na MVS, são muito próximos, tendo-se uma alta significância estatística ($P < 0,01$), o qual não acontece com o P orgânico.

Comparando estes valores, com os obtidos para o P orgânico do solo por diferentes métodos (Tabela 4), pode-se notar que o método de Catani e Bataglia foi o que apresentou melhor correlação, no entanto o método não é bom para a determinação do P Total no solo, quando comparado com os outros dois. Devido ao exposto anteriormente, deve-se tomar com reserva os valores dados nestas correlações, já que não concordam com os valores relativos obtidos para o Fósforo Total no Solo.

Por outra parte, os métodos de Sommers e Nelson e de Jackson, apresentam-se equivalentes, tanto na determinação do P Total do Solo, quanto nas correlações com a MVS de Feijoeiro e o P Total na MVS.

4.4.3.2. Milho

Na Tabela 21, apresentam-se os coeficientes de correlação entre a Matéria Vegetal Seca produzida pelo Milho, nos cinco diferentes solos, e o Fósforo Total obtido para esses solos por diferentes métodos de análise, assim como os coeficientes de correlação entre o Fósforo Total na MVS de Milho,

Tabela 21. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a Matéria Vegetal Seca e/ou o Fósforo Total na MVS de Milho, com o Fósforo Total do solo, obtido por diferentes métodos de análise.

Método de Análise	Matéria Vegetal Seca			Fósforo Total na MVS		
	r	F	s	r	F	s
S. e N.	0,70	12,74	**	0,68	10,96	**
Jackson	0,71	13,02	**	0,68	11,18	**
C. e B.	0,83	28,16	**	0,81	24,33	**

** significativo estatisticamente a 1% de probabilidade.

e o P Total do Solo.

Neste caso valem as mesmas considerações feitas para o Feijoeiro, ressaltando que os valores absolutos dos coeficientes de correlação para o Milho, são um pouco inferiores aos obtidos para o Feijoeiro, no entanto apresentam uma alta significância estatística ($P < 0,01$).

4.4.4. Correlação entre Matéria Vegetal Seca e Fósforo Adicionado ao solo, e entre Fósforo Total na MVS e Fósforo Adicionado ao Solo

4.4.4.1. Feijoeiro

Na Tabela 22, observam-se os coeficientes de correlação obtidos entre a Matéria Vegetal Seca produzida pelo Feijoeiro, em cada solo, e o Fósforo Adicionado ao Solo, assim como os coeficientes de correlação entre o Fósforo Total na MVS de Feijoeiro, e o P adicionado ao solo.

Dos dados apresentados, observa-se que em todos os solos deu-se uma correlação altamente significativa, ao nível de 1% de probabilidade, sendo que os valores obtidos com o Fósforo Total na MVS, são ligeiramente melhores que os obtidos com MVS, no entanto todos esses valores estão na ordem de 0,98 ou mais, exceto a correlação no PVp entre MVS de Feijoeiro e P adicionado, no qual o valor cai para 0,93.

Tabela 22. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a Matéria Vegetal Seca, e o Fósforo Total na MVS em Feijoeiro, com os diferentes níveis de Fósforo Adicionado ao solo, para cada tipo de solo.

Solo		Matéria Vegetal Seca	Fósforo Total na MVS
AQ	r	0,988	0,995
	F	78,62	207,67
	s	**	**
PVls	r	0,992	0,995
	F	120,76	195,60
	s	**	**
LR	r	0,984	0,988
	F	60,05	79,71
	s	**	**
PVp	r	0,932	0,992
	F	13,18	124,61
	s	**	**
TRE	r	0,999	0,998
	F	794,93	404,60
	s	**	**

** significativo estatisticamente a 1% de probabilidade.

Pelo anterior, pode-se deduzir que o Feijoeiro respondeu significativamente a adubação fosfatada, tanto na produção de MVS, quanto na quantidade de P Total na MVS.

4.4.4.2. Milho

Na Tabela 23, observam-se os coeficientes de correlação entre a Matéria Vegetal Seca produzida pelo Milho, para cada solo, e o Fósforo Adicionado ao Solo, assim como também os coeficientes de correlação entre o Fósforo Total na MVS de Milho e o Fósforo Adicionado ao Solo.

De forma similar ao Feijoeiro, no Milho se obtiveram coeficientes de correlação altamente significativos, com significância estatística a 1% de probabilidade, para todos os solos estudados.

Os valores absolutos de r em todos os solos, ao contrário do Feijoeiro, estão bastante próximos da unidade, sendo que o menor valor obtido é de 0,967 com a TRE.

Assim como no caso do Feijoeiro, pode-se dizer que o Milho respondeu significativamente a adubação fosfatada, tanto na produção de MVS, quanto na quantidade de P total na MVS.

Tabela 23. Coeficientes de correlação (r), Teste de F (F) e significância estatística (s), entre a Matéria Vegetal Seca, e o Fósforo Total na MVS em Milho, com os diferentes níveis de Fósforo Adicionado ao Solo, para cada tipo de solo.

Solo		Matéria Vegetal Seca	Fósforo Total na MVS
AQ	r	0,999	0,997
	F	2848,71	336,44
	s	**	**
PVls	r	0,997	0,999
	F	333,29	2462,31
	s	**	**
LR	r	0,988	0,998
	F	83,33	514,10
	s	**	**
PVp	r	0,983	0,989
	F	55,15	94,60
	s	**	**
TRE	r	0,969	0,981
	F	30,89	52,32
	s	**	**

** significativa estatisticamente a 1% de probabilidade.

4.4.5. Correlação entre a Matéria Vegetal Seca produzida e a quantidade de Fósforo Total na MVS, para cada nível de Fósforo Adicionado ao Solo

4.4.5.1. Feijoeiro

Na Tabela 24, tem-se os valores obtidos para os coeficientes de correlação entre a Matéria Vegetal Seca produzida pelo Feijoeiro, e a quantidade de Fósforo Total nessa MVS.

Segundo os dados anotados, os valores absolutos dos coeficientes de correlação, estão na seguinte ordem crescente, segundo o nível de P adicionado ao solo:

$$P_1 < P_2 < P_3 < P_0$$

Observa-se que estes dados concordam com os de quantidade de fósforo absorvido pela planta a cada nível de P adicionado ao solo, para todos os solos, no entanto, esses valores de r são altamente significativos ao nível de 1% de probabilidade, e as suas diferenças reais são muito baixas, pelo qual pode-se considerar que a todos os níveis, a quantidade de Fósforo na Planta, se correlacionou muito bem com a matéria vegetal seca produzida no Feijoeiro.

4.4.5.2. Milho

Na Tabela 25, tem-se os valores obtidos para

Tabela 24. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a Matéria Vegetal Seca e o Fósforo Total na MVS de Feijoeiro, para cada nível de Fósforo Adicionado ao Solo.

	P adicionado (ppm)			
	0	10,92	21,84	32,76
r	0,986	0,946	0,953	0,982
F	439,45	110,33	129,67	250,69
s	**	**	**	**

** significativo estatisticamente a 1% de probabilidade.

Tabela 25. Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a Matéria Vegetal Seca e o Fósforo Total na MVS de Milho, para cada nível de Fósforo Adicionado ao Solo.

	P adicionado (ppm)			
	0	10,92	21,84	32,76
r	0,997	0,987	0,995	0,998
F	2120,11	500,82	1165,68	2680,58
s	**	**	**	**

** significativo estatisticamente a 1% de probabilidade.

os coeficientes de correlação entre a Matéria Vegetal Seca produzida pelo Milho, e a quantidade de Fósforo Total nessa MVS.

Segundo os dados anotados, observa-se que praticamente não existe diferença entre os valores de r para cada nível de P adicionado do solo, sendo que apresentam uma alta significância estatística ao nível de 1% de probabilidade, para todos os casos.

Pode-se dizer que o Milho apresentou melhor correlação entre a MVS e o P contido nela, a todos os níveis de P aplicado, pelo qual o comportamento do milho em casa de vegetação é superior ao Feijoeiro para teste de Fósforo.

4.5. Sugestões para pesquisas posteriores

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, e com o fim de esclarecer certas dúvidas, bem como garantir o prosseguimento dessa linha de pesquisa, a qual visa esclarecer o comportamento do fósforo frente a diferentes extratores químicos, e diferentes classes de fósforo no solo, e sua relação direta na absorção pelas plantas, pretende-se realizar, na Venezuela, as seguintes pesquisas:

a. Instalação de experimentos de estufa e de campo, com plantas diferentes, e para diferentes tipos de so-

los, a fim de obter as correlações entre as classes de fósforo no solo e a absorção do fósforo pela planta.

b. Instalar experimentos ampliando o número de extratores químicos usados para as diferentes classes de fósforo no solo, visando encontrar os melhores extratores.

c. Efetuar o fracionamento do fósforo para os solos estudados, e estudar a correlação dos tipos de fósforo no solo com os métodos de extração para cada classe de fósforo, assim como as suas correlações com as plantas, e o fósforo absorvido por elas.

d. Utilizar o maior número de extratores, para as diferentes classes de P, no maior número possível de solos, bem caracterizados mineralógica, física e quimicamente, para assim poder fazer extrapolações significativas.

e. Realizar no maior número possível de solos, estudos da cinética de adsorção e desorção de P nestes solos.

5. CONCLUSÕES

1. Dos extratores utilizados para determinar fósforo solúvel, os melhores foram os de IAC (H_2SO_4 0,05 N) e Mehlich (H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,05 N), em termos de quantidade de P extraído.

2. Os dois extratores utilizados para determinar P orgânico, Mehta *et alii* (extração com HCl e NaOH) e Saunders e Williams (ignição e extração com H_2SO_4), foram equivalentes no referente a quantidade de P extraído.

3. Os métodos de Sommers e Nelson (digestão perclórica) e Jackson (fusão com Na_2CO_3 e extração com H_2SO_4) foram os melhores no que diz respeito a quantidade de P extraída.

4. De forma geral, houve respostas, tanto no Milho como no Feijoeiro, ao P adicionado nos três níveis para

os cinco solos, tanto na Matéria Vegetal Seca produzida, como no P total na MVS. Convém destacar os solos AQ, PVls e LR com uma maior resposta ao P adicionado. Isto foi confirmado pelos coeficientes de correlação.

5. Para as duas culturas, em todos os solos e todos os níveis de P aplicado, a porcentagem de Utilização Efetiva de P foi baixa, menos do que 10% sendo que no Milho foi menor que no Feijoeiro. No Feijoeiro, a melhor porcentagem de Utilização Efetiva foi no LR (7,14%) e no Milho foi na TRE (4,95%).

6. Nos extratores de P solúvel, as melhores correlações com a MVS produzida e com o P total na MVS, foram com os extratores do IAC e do Mehlich, para as duas culturas ($r = 0,94^{**}$).

7. Os dois extratores usados para P orgânico, deram as mesmas correlações com Matéria Vegetal Seca e com P total na MVS, nas duas culturas ($r = 0,69^{*}$).

8. No referente aos Extratores para P total, não pôde-se ter uma conclusão certa, devido a que o extrator menos eficiente (Catani e Bataglia) foi o que deu a melhor correlação ($r = 0,83^{*}$).

9. Em todos os níveis de P adicionado ao solo, houve uma correlação muito boa entre a Matéria Vegetal Seca produzida, e o P total na MVS, tanto para o Feijoeiro como para o Milho.

6. LITERATURA CITADA

- ADAMS, A.P., M.W. BATHOLOMEU e F.E. CLARCK, 1954. Measurement of nucleic acids components in soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 18: 40-46.
- ALEXANDER, T.G. e J.A. ROBERTSON, 1972. EDTA extractable phosphorus in relation to available and inorganic phosphorus forms in soils. *Soil Sci.*, 114: 69-72.
- AMER, F., D.R. BOULDIN, C.A. BLACK e F.R. DUKE, 1955. Characterization of soil phosphorus by anion-exchange resin absorption and ^{32}P equilibration. *Pl. Soil*, 6: 391-408.
- ANDERSON, A., 1975. Relative efficiency of nine different soil extractants. *Sw. J. Agr. Res.*, 5(3): 125-135.
- ANDERSON, G., 1961. A partial fractionation of alkali-soluble soil organic phosphate. *J. Soil Sci.*, 12: 276-285.
- ANDERSON, G., 1967. *Soil Biochemistry*, A.D. McLaren e G.H. Peterson, eds., pp. 67-90, Dekker, New York.
- ANDERSON, G., 1970. The isolation of nucleoside diphosphates from alkaline extract of soil. *J. Soil Sci.*, 21: 96-105.

- ANDERSON, G. e R.J. HANCE, 1963. Investigation of an organic phosphorus component of fulvic acid. *Pl. Soil*, XIX (3) 296-303.
- ANDERSON, G. e R.E. MALCOM, 1974. The nature of alkali-soluble soil organic phosphates. *J. Soil Sci.*, 25: 282-297.
- ANGHINONI, I e H. BOHNEN, 1972. Avaliação da disponibilidade de fósforo para os solos do Estado do Rio Grande do Sul. *Agron. Sulriograndense*, Porto Alegre, 10(1): 127-136.
- AWAN, A.B., 1964. Effect of lime on availability of phosphorus in Zamorano soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28 (5): 672-673.
- BAHIA FILHO, A.F. de C., 1974. Fósforo em latossolos do Estado de Minas Gerais: intensidade, capacidade tampão e quantidade de fósforo "disponível" e crescimento vegetal. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 69 p. (Dissertação de Mestrado).
- BALERDI, F., L. MULLER e H.W. FASSBENDER, 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central. III. Comparación de cinco métodos químicos de análisis de fósforo disponible. *Turrialba*, 18(4): 348-360.
- BIASI, J. *A avaliação do fósforo relacionado a diversos extratores químicos em solos de Santa Catarina*. Piracicaba, 1978. 181 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".
- BIRCH, H.F., 1961. Phosphorus transformations during plant decomposition. *Pl. Soil*, XV(4): 347-366.
- BITTENCOURT, V.C. de, J. ORLANDO e E. ZAMBELLO, 1978. Determination of available P for sugar cane in tropical soils by extraction with 0,5 N sulphuric acid. *In* Proceedings 16th Congress International Society of Sugar Cane Technologists, Brazil 1977. 1175-1186.

- BLACK, C.A. e C.A.I. GORING, 1953. Organic phosphorus in soils. In: Soil and fertilizer phosphorus. Pierre W.H. and A.G. Norman, eds. Academic Press Inc., New York, pp. 123-152.
- BORNEMISZA, E., 1966. Organic phosphorus in tropical soils. *Turrialba*. 16: 33-38.
- BOWER, C.A., 1949. Studies on the forms and availability of soil organic phosphorus. *Iowa Agr. Exp. St. Res.*, Bulletim nº 362, p. 33.
- BRAGA, J.M., A.F.C. BAHIA, G.E. FRANÇA, R.G. HANSEN, T. HARA, J.F. MENDES, A.M. RESENDE e P.R.R.S. SANTOS, 1976. Calibração de análises químicas do solo e caracterização da curva de resposta da soja para o calcário e fósforo. Base para utilização Agropecuária. In: Simpósio sobre Cerrado, 6, Brasília, 16 p.
- BRAGA, J.M. e B.V. DEFELIPO, 1972a. Relações entre formas de P inorgânico, P disponível e material vegetal, em solos sob vegetação de cerrado. I: Trabalho de Laboratório. *R. Ceres*. Viçosa, 19(102): 124-136.
- BRAGA, J.M. e B.V. DEFELIPO, 1972b. Relações entre formas de P disponível e material vegetal em solos sob vegetação de cerrado. II: Trabalho em estufa. *R. Ceres*. Viçosa, 19(102): 248-260.
- BRAGA, J.M. e J. YANNER, 1968. Estudo de correlação da análise química de solo e da planta em cultura de milho. *Experienciae*, 8(5): 164-196.
- BRAY, R.H. e L.T. KURTZ, 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.*, 59: 39-45.
- BREMNER, J.M. e C.L. HO, 1961. Use of ion exchange resins for extraction of soil organic matter. *Agr. Abs. Am. Soc. Agr.*, 15.

- CABALA, R.P. & H.W. FASSBENDER, 1970. Formas de fósforo en suelos de la región cacaotera de Bahia, Brasil. *Turrialba*, Costa Rica, 20(4): 439-444.
- CABALA, R.P. e M.B.M. SANTANA, 1972. Comparison of chemical extractants of phosphorus in soils of southern Bahia. *Turrialba*. 22(1): 19-26.
- CATANI, R.A., 1947. Contribuição ao estudo dos fosfatos, sua dosagem, extração e distribuição nos solos do Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP, 65 p. (Tese de Doutorado).
- CATANI, R.A. e O.C. BATAGLIA, 1968. Formas de ocorrência do fósforo no solo latossólico roxo. *Anais da ESALQ*, Piracicaba, 25:99-119.
- CATANI, R.A., J.R. GALLO e H. GARGANTINI, 1955. *Amostragem de solo, métodos de análises, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade*. Inst. Agr. Campinas, Boletim nº 69, 29 pp.
- CATANI, R.A., A.C. NASCIMENTO e J.R. GALLO, 1957. Formas de ocorrência do fósforo nos solos do Estado de São Paulo. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, 32(3): 147-163.
- CHANG, S.C., 1965. Application of phosphorus fractionation to the study of the chemistry of available soil phosphorus. *Soil and Fert. in Taiwan*, p. 1-15.
- COSGROVE, D.J., 1963. The chemical nature of soil organic phosphorus. I. Inositol phosphates. *Aust. J. Soil Res.*, 1: 203-214.
- COSGROVE, D.J., 1967. Isolation of Myo-Inositol pentaphosphates hydrolysates of phytic acid. *Biochem. J.*, 89: 172-175.
- COSGRAVE, D.J., 1972. The origin of inositol polyphosphates in soil. Some model experiments in aqueous systems involving the chemical phosphorylation of myo-inositol and

- the epimerization of myo-inositol pentaphosphates. *Soil Biol. Biochem.*, 4:387-396.
- DAHNIKE, W.C., J.L. MALCOM e M.E. MENENDEZ, 1963. Phosphorus fractions in selected soil profiles of El Salvador as related to their development. *Soil Sci.*, 87(2): 100-104.
- DALAL, R.C., 1973. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium hidronidesodium carbonate solution. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*. 39(2): 142-143.
- DAZA, B.J. e L.R. MÜLLER, 1965. Comparación de cinco métodos químicos para la determinación de fósforo aprovechable en algunos suelos tropicales. *Turrialba*. 15(3): 249-251.
- DHILLON, N.S., A.S. SIDHU e G. DEV, 1977. Evaluation of phosphorus availability indices and establishment of critical limit for available P in alkaline soils of Punjab. *Indian Journal of Agricultural Research*. 11(3): 142-146.
- DICK, W.A. e M.A. TABATABAY, 1977. Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. *J. Environ. Qual.* 6: 82-85.
- DORMAAR, J.F. e G.R. WEBSTER, 1963. Determination of total organic phosphorus in soils by extraction methods. *Canad. J. Soil Sci.*, 43: 35-42.
- ENWEZOR, W.O., 1977. Soil testing for phosphorus in some Nigerian soils: I. Comparison of methods of determining available phosphorus in soils of southeastern Nigeria. *Soil Sci.*, 43: 35-42.
- FARDEAU, J.C., D. DELILLE e C. ABRAMOVICI, 1968. Utilisation de la phytine par les plants. *In: Isotopes and Radiation in soil organic matter studies.*, Inter. Atom. Ener. Agen. Vienna, pp. 555-565.

- FASSBENDER, H.W., 1966. Descripción físico-química del sistema fertilizante fosfato-suelo-planta. *Turrialba*, 16(3):237-246.
- FASSBENDER, H.W., L. MULLER e F. BALERDI, 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central: II. Formas y su relación con las plantas. *Turrialba*, 18:333-347.
- FERREIRA, M.E., F.A.F, MELLO e M.O.C. DO BRASIL SOBRINHO, 1978. Comparação entre três técnicas de extração de P solúvel do solo. *Científica*, 5(3): 244-249.
- FOLE, D.A. e S.S. GRIMN, 1973. Avaliação do efeito residual do fósforo por meio de métodos de extração e modelos matemáticos no oxissolo Passo Fundo. *Agron. Sulriograndense*, Porto Alegre, 9(2): 205-221.
- FRIED, M. e H. BROESHART, 1967. *The soil-plant system, in relation to organic nutrition*. New York, Academic Press, 358 pp.
- FRIEND, M.T. e H.F. BIRCH, 1960. Phosphate response in relation to soil tests and organic phosphorus content. *J. Agr. Sci.*, 54:341-347.
- FURUKAWA, H. e K. KAWAGUCHI, 1969. Contribution of organic phosphorus to the increase of easily soluble P in waterlogged soil, especially related to phytic phosphorus (I.H.P.). *J. Sci. Soil and Manure, Japan*, 40(4): 141-148.
- GAYANDE SAMPAT, A., 1973. *Física de Suelos, Principios y Aplicaciones*. Ed. Simusa Wiley S.A., p. 40.
- GONZALEZ, T.R., R.L. AVILAN, L.C. LEON, A. CHIRINOS e I. DE ROJAS, 1976. Métodos de análisis de suelos de Portuguesa (Venezuela) estudiados en invernadero. *Agr. Tropical*, 26(5): 393-408.
- GONZÁLEZ, T.R. e S.R. PÉREZ, 1976. Determination of phosphorus in Yaracuy soils in relation to field experiments. *Agr. Tropical*, 26(1): 15-29.

- GRUNES, D.L., H.R. HAISE, F. TURNER e J. ALESSI, 1963.
Relationship between yield response to applied fertilizers and laboratory measures of nitrogen and phosphorus availability. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 27: 675-679.
- HAGIN, J. e J. HILLINGER, 1964. Methods for determination of available phosphorus for peanuts. In: 8th Intern. Congress of Soil Sci., Bucharest, pp. 5-14.
- HAGIN, J., J. HILLINGER e A. OMERT, 1963. Comparison of several ways of measuring soil phosphorus availability. *J. Agric. Sci.*, 60: 245-249.
- HALM, A.T., 1968. Correlation of soil tests for available phosphorus with crop yield. *Ghana J. Agric. Sci.*, 1:29-33.
- HANNAPEL, R.J., W.H. FULLER, S. BOSMA e J.S. BULLOCK, 1964a. Phosphorus movement in a calcareous soil. I. Predominance of organic forms of phosphorus in phosphorus movement. *Soil Sci.*, 97(5): 530-557.
- HANNAPER, R.J., W.H. FULLER e R.H. FOX, 1964b. Phosphorus movement in a calcareous soil. II. Soil microbial activity and organic phosphorus movement. *Soil Sci.*, 97(6): 421-427.
- HANCE, R.J. e G. ANDERSON, 1963. Identification of hydrolisis products of soils phosphorus. *Soil Sci.*, 96: 157-161.
- HERNANDO, V., V. LOMBARDIA e M.T. PARDO, 1970. Correlations between the active fractions of soil phosphorus and their availability to wheat. *Phosphorus in Agriculture*, 56: 35-41.
- HESSE, P.R., 1971. *A Textbook of Soil Chemical Analysis*. JOHNS MURRAY, Eds., pp. 295.
- HONG, C.K. e I. YAMANE, 1975. A comparison of three methods

- used for determining total organic phosphorus in soil. *J. Sci. Soil and Manure*, Japan, 46(5): 185-191.
- ISLAM, A. e B. AHMED, 1973. Distribution of inositol phosphates phospholipids, and nucleic acids and mineralization of inositol phosphates in some Bangladesh soils. *J. Soil Sci.* 24: 193-198.
- IVANOV, S.N., 1970. A new principle of determining the fertilizer requirements of plants in relation to the nutrient content of the soil. *In: 8th. Intern. Congress of Soil Sci.*, Bucharest, pp. 861-867.
- JACKSON, M.L., 1964. Chemical composition of soils. *In: Chemistry of the soil*. 2^a ed. Bear, F.E. editor, Reinhold Publ. Corp., New York, pp. 71-144.
- JACKSON, M.L., 1970. *Análisis Químico de Suelos*. 2^a ed. MARTINEZ, J.B., Trad. Barcelona, Ed. Omega S.A., 662 p.
- JACKSON, M.L., S. VACHAROTAYAN, L. ALBAN e R. PETERSON, 1964. Phosphorus availability in reddish brown lateritic soils: II. Relationships between field greenhouse, and soil analyses. *Agron. J. Madison*, 56: 558-560.
- JACQUIN, F. e P. SASPORTES, 1968. Dynamique du phosphore organique. *Trans. 9th. Intern. Congr. Soil Sci.*, II: 311-319.
- JOSHI, D.C. e S.N. SAXENA, 1972. Distribution of organic phosphorus in humus fractions. *J. Ind. Soc. Soil Sci.*, 20(2): 117-120.
- JUANG, T.C. e S.L. FANG, 1965. Comparative study on the soil testing methods for determining available phosphorus of Taiwan sugarcane soils. *Soils Fertil. Taiwan* 1965: 34-39.
- KACAR, B., F. DIDEHVAR e E. SHOKRAVI, 1967. Evaluation of various methods for the estimation of plant available phosphorus in the soils of Caspian Sea area (Iran). *Yb Fac. agric. Univ. Ankara, Turkey* 7: 140-150.

- KAILA, A., 1963. Organic phosphorus in Finnish soils. *Soil Sci.* 95(1): 38-44.
- KARIN, A. e D.H. KHAN, 1965. Relationship between pH and different forms of phosphorus in some soils of east Pakistan. *Soil Sci.* Baltimore, 80: 229-233.
- KOTELEV, V.V., 1953. The application of bacterial fertilizers to the Kalavash region. Results of 1953 tests. *Izvest. Molda. Filiala Akad. Nauk. SSR*, 5: 77-85.
- KOTELEV, V.V., E.A. MEKHTIEVA e V.I. SMIRNOV, 1960. Phosphatase activity of some soils and rhizospheres of cultivated plants. *Soil and Fert. Abstr.*, 24: nº 2550.
- KUZ'MICH, M.A. e Y.K. CHUPRIKOV, 1979. A comparison of methods for determining available phosphate in derno-podzolic gleyey soils. *Izv. Timir. Sel. Akad.*, 5: 79-87.
- KURTZ, L.T., 1942. Elimination of fluoride interference in the molybdenum blue reaction. *Indust. Engin. Chem. Urbana*, 14(11): 15.
- L'ANNUNZIATA, M.F., 1975. The origin and transformations of the soil inositol phosphate isomers. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 39: 377-379.
- MACLEAN, A.A., J.J. DOYLE e F.G. HEMLYN, 1955. Fertility studies on some New Brunswick soils. Soil phosphorus supply as shown by greenhouse and chemical tests. *Can. J. Agr. Sci.* 35: 388-396.
- MARTIN, J.K., 1964. Soil organic phosphorus. I. Methods for the extraction and partial fractionation of soil organic phosphorus. *New Zeal. J. Agric. Res.*, 7: 750-760.
- MATTINGLEY, G.E., 1965. Determining total phosphorus in soils. *In: Rothamsted Exp. Stn. Rep.*, pp. 71-72.
- MEHLICH, A., 1953. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH_4 , by North Carolina soil testing laboratories. *Univ. of N. Carolina, Raleigh*, 1953.

- MEHTA, N.C., J.O. LEGG, C.A. GORING e C.A. BLACK, 1954. Determination of organic phosphorus in soil: I. Extraction method. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 18: 443-449.
- MELSTED, S.W., 1967. The philosophy of soil testing. In: *Soil testing and plant analysis*. Madison, Soil Sci. Soc. Am. Inc., Publishers, pp. 13-23 (SSSA Special Publications Series, nº 2).
- MORTENSEN, J.L. e F.L. HINES, 1964. Soil organic mater. In: *Chemistry of the soil*. 2ª ed., Bear, F.E., editor. Reinhold Publ. Corp., New York, pp. 206-241.
- MOSEUR, U.S., W.H. SUTHERLAND e C.A. BLACK, 1959. Evaluation of laboratory index of absorption of soil phosphorus by plants. *Pl. Soil*, 10: 356-374.
- MURPHY, J. e J.P. RILEY, 1962. A modified single solution method for the determination of phosphorus in natural water. *Anal. Chim. Acta.*, 27: 31-36.
- McKERCHER, R.B. e G. ANDERSON, 1968. Content of inositol penta- and hexa-phosphates in some canadian soils. *J. Soil. Sci.*, 19(1): 47-55.
- NEPTUNE, A.M.L., 1976. O fósforo no solo. In: Curso de Nutrição de Plantas, Fertilidade do solo, adubos e adubação. USP. ESALQ. (mimeografado)
- OKE, O.L., 1970. Chemical determination of readily available phosphorus in soils. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 18(1): 1-3.
- OLSEN, S.R., C.V. COLD, F.S. WATANABE e L.A. DEAN, 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *U.S. Department of Agriculture*, Washington D.C., Circular nº 939.
- OLSEN, S.R. e M. FRIED, 1957. Soil phosphorus and fertility. In: *Soil, the yearbook of agriculture*, Washington, pp. 94: 100.

- OMOSTOSO, T.I., 1971. Organic phosphorus contents in some cocoa growing soils of southern Nigeria. *Soil Sci.*, 112 (3): 195-199.
- PASQUAL, A. e A.M.L. NEPTUNE, 1976. Efeito de doses elevadas de fósforo em produção de milho e nas principais formas de ocorrência deste nutriente em dois solos do Estado de São Paulo. IX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, Belo Horizonte, MG.
- PAYNE, H. e W.J. HANNA, 1965. Correlations among soil phosphorus fractions, extractable phosphorus and plant content of phosphorus. *J. Agric. Ed. Chem.*, 13: 322-326.
- PEECH, M. e L. ENGLISH, 1944. Rapid microchemical soil tests. *Soil Sci.*, 57: 167-195.
- PEREIRA, J.R. e C.M.B. FARIA, 1977. Avaliação da disponibilidade de fósforo em um vertissol do médio São Francisco por diversos métodos, In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 16, São Luiz, 15 p.
- PEREZ MENDEZ, J.A., F. GUTIERREZ, E. FERNANDEZ e J.C. TRUJILLO, 1978. Etude comparative de méthodes pour la détermination du phosphore total dans différents types d'andols. *Science du Sol*, 4:241-250.
- PICHOT, J. e P. ROCHE, 1972. Phosphore dans les sols tropicaux. *L'Agronomie Tropicale*, 27: 939-965.
- PIMENTEL GOMES, F., 1970. Curso de Estatística Experimental. 4ª ed., São Paulo. Livraria Novel S.A. 430 p.
- PRATT, P.F. e M.J. GARBER, 1964. Correlations of phosphorus availability by chemical tests with inorganic phosphorus fractions. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 28: 23-26.
- RESENDE, T.R.C., 1977. Estudo do fósforo em alguns solos do Estado da Bahia (fracionamento e teor total de P. relação C/N e comparação de métodos químicos para P assimilável). In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 16, São Luiz,

11 p.

RUSSELL, E.W., 1973. *Soil conditions and plant growth*, 10th ed., Logmans Green, New York, 263 pp.

SÁ, J.P.M., S.M.C. ARAUJO, S.J. GALVÃO, A.L. DE VASCONCELOS e E.S.C. OLIVEIRA, 1974. Evaluation of methods of chemical analysis for available phosphorus in soils of the "Zona Litoral-Mata" of Pernambuco. *Pesquisa Agrop. Brasileira, Agronomia*, 9(9): 27-33.

SAHRAWAT, K.L., 1977. EDTA extratable P in soils as related to available and inorganic P forms. *Soil Sci. Pl. Anal.*, 8(4): 281-287. *Appud: Phosphorus in Agriculture*, 1978, 32, nº 5.

SAUNDERS, W.M.H. e E.G. WILLIAMS, 1955. Observation on the determination of total organic phosphorus in soils. *J. Soil Sci.*, 6(6): 254-267.

SHERREL, C.G. e W.M.H. SAUNDERS, 1966. An evaluation of methods for the determination of total phosphorus in soils. *N.Z. Jl. Agric. Res.*, 9: 972-979.

SIBBESEN, E., 1977. A simple ion-exchange resin procedure extracting plant available elements from soils. *Plant Soil*, 46: 665-669.

SMITH, F.W. e R.L. COOK, 1953. A study of the relationship between chemically available phosphorus and plant growth response on several Michigan soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 17: 26-30.

SMITH, A.N., 1970. Fractionation of inorganic phosphorus in soils, the Chang and Jackson fractionation procedure: its limitations and uses. *Agridigest*, 17:10-19.

SOMMERS, L.E. e D.W. NELSON, 1972. Determination of total phosphorus in soils. A rapid perchloric acid digestion procedure. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36:902-904.

- STRICKLAND, K.P., 1975. *Form and function of phospholipids*. J.N. Howthorne, G.B. Ansell and R.M.C. Dawson, eds., pp. 9-42. Elsevier, Amsterdam.
- SUSUKI, A., K. LAWTON e E.C. DOLL, 1963. Phosphorus uptake and soils tests as related to forms of phosphorus in some Michigan soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 27:401-403.
- SYRES, J.K., J.D.H. WILLIAMS, A.S. CAMBELL e T.W. WALKER, 1967. The significance of apatite inclusions in soil phosphorus studies. *Soil Sci. Am. Proc.*, 31: 752-756.
- SYRES, J.K., J.D.H. WILLIAMS, E.H. TYNER e T.W. WALKER, 1969. Primary and secondary origin of 'nonextractable' soil inorganic phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33: 635-636.
- SYRES, J.K., J.D.H. WILLIAMS e T.W. WALKER, 1968. The determination of total phosphorus in soils and parent materials. *New Zeal. J. Agric. Res.*, 11: 757-762.
- SWIFT, R.S. e A.M. POSNER, 1972. Nitrogen, phosphorus and Sulfur contents of humic acids fractionated with respect to molecular weight. *J. Soil Sci.*, 23(1): 50-57.
- SZEMBER, A., 1960. Influence on plant growth of the breakdown of inorganic phosphorus compounds by microorganisms. *Pl. Soil*, 12 (2): 147-158.
- TATE, K.R., 1979. Fractionation of soil organic phosphorus in two New Zeland soils by use of sodium borate. *New Zeland J. Sci.*, 22(2): 137-142.
- TORRES, B.M. e T.E. ORTEGA, 1972. Correlacion y calibración de diferentes métodos de análisis químico de fósforo asimilable para los suelos de la zona de influencia de Chapingo, México. *Agrociência*, C(7): 47-63.
- TITTERINGTON, J.M. e E.C. VARSA, 1975. A comparison of P extraction methods on soil of Rio Grande do Sul - Brazil. *Agron. Abst. Amer. Soc. Agron.* 194. In: *Phosphorus in Agriculture*. Paris, 28: 36.

- TRUOG, E., 1930. The determination of the readily available phosphorus of soils. *J. Amer. Soc. Agron.*, 22: 874-882.
- ULTRAFERTIL, 1980. *Guia de adubação Ultrafertil*, 3ª ed., Deptº de Serviços Técnicos Agronômicos, pp. 27.
- VELAYTHAM, M. e J.M. JAIN, 1972. Preliminary studies on the development of an ideal soil test for available P for rice (in the black soil fo Coimbatore based on availability of different forms of soil P to the crop) under field conditions (R). *Int. Symp. Soil Fert. Eval.*, New Delhi (Índia), 134-143. In: *Phosphorus in Agriculture*, Paris, 59-41.
- VIDOR, C. e J.R.J. FREIRE, 1971. Calibração de análises de solo para a cultura de soja (*Glycine max*), *Agron. Sulriogran_{den}se*, Porto Alegre, 7: 63-72.
- VIEIRA, L.S., 1971. Teor de fósforo orgânico em alguns solos do Pará. Série Monografias 6. IDESF - Belém, Pará.
- WALMSLEY, D. e I.S. CORNFORTH, 1973. Methods of measuring available nutrients in West Indian soils. II. Phosphorus. *Pl. Soil*, 39: 93-101.
- WARREN, R.G. e G.W. COOKE, 1962. Comparisons between methods of measuring soluble phosphorus and potassium in soils used for fertilizers experiments on sugar beet. *J. Agric. Sci.* 59: 269-274.
- WELLS, N. e W.N.H. SAUNDERS, 1960. Soil studies using sweet vernal to ossess element availability. IV. Phosphorus. *New Zeal. J. Agric. Res.*, 3: 279-299.
- WILLIAMS, R.J.B. e G.W. COOKE, 1965. Measuring soluble phosphorus in soils, comparison of methods, and interpretation of results. *Tech. Bull. Minist. Agric. Fish.* 13: 84-93.
- WILLIAMS, J.D.H. e T.W. WALKER, 1967. Comparison of "ignition" and "extraction" methods for the determination of organic phosphate in rocks and soils. *Pl. Soil*, 27: 457-458.