**COMPARAÇÃO ENTRE FONTES DE FÓSFORO ATRAVÉS DE TRÊS
EXTRATORES QUÍMICOS DO SOLO E PLANTAS DE ARROZ**

REYNALDO ROCHA BELTRÁN
Engenheiro agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Setembro - 1994

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

Rocha Beltrán, Reynaldo

R672c Comparação entre fontes de fósforo através de três
extratores químicos do solo e plantas de arroz.
Piracicaba, 1994.
73p.

Diss.(Mestre) ESALQ
Bibliografia.

1. Arroz - Adubação fosfatada 3. Fósforo em solo
5. Extrator químico I. Escola Superior de Agricultura
Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 633.18
631.85

COMPARAÇÃO ENTRE FONTES DE FÓSFORO ATRAVÉS DE TRÊS
EXTRATORES QUÍMICOS DO SOLO E PLANTAS DE ARROZ

REYNALDO ROCHA BELTRÁN

Aprovado em: 3 de novembro de 1994

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira

ESALQ/USP

Prof. Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello

ESALQ/USP

Prof. Dr. Iraê Amaral Gerrini

UNESP/BOT

Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira
Orientador

A mis amados papás, Gerardo y Daria que siempre se esfuerzan para darme
todo lo mejor, con profundo agradecimiento

A mi esposa y compañera que siempre me apoya en todo momento,
con mucho amor

A mis hermanos, Felix y Willma y a mi sobrina Angie por los
momentos compartidos, con cariño

A mi abuelita Simona, con mucha nostalgia

(in memoriam)

DEDICO

A mi amada hija Maristela, la razón de mi existir con mucho amor

OFRESCO

A Deus por tudo que me concede na vida

Aos meus pais Gerardo e Daria pelo amor, motivação e apoio constante para me tornar em um homem de bem.

A Marli minha esposa, pelo incentivo, paciência e colaboração na realização deste trabalho

À ESALQ/USP, pela oportunidade de realizar o curso e pela acolhida

À Embaixada do Brasil na Bolívia e a CAPES/PEC/PG pela bolsa concedida

Ao Dr. Ronaldo Ivan Silveira pelos conselhos e pela valiosa orientação

Aos funcionários do Dpto. de Ciência do Solo y do CIAGRI da ESALQ/USP, pela colaboração na realização das análises e ao amigo Miltinho pela colaboração na elaboração das figuras

Aos meus amigos, Raimundo Nonato Assis Jr., Rivaldo Vital dos Santos, José R. N. Ferreira Gama, José Simplicio de Holanda, Antônio Saraiva Muniz, Marcos Cabral, José Rafael Baldeón Mendez e Juan Carlos Montañó, pela colaboração desinteressada na realização deste trabalho

A todos os amigos e colegas do curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP, pelo excelente convívio

AGRADEÇO

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vi
SUMMARY	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Fósforo no solo.....	4
2.2. Fósforo na planta	7
2.3. Comparação entre fontes de fósforo.....	10
2.4. Avaliação da disponibilidade de fósforo	14
2.5. Influência do tempo de incubação na extração de P	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1. Amostragem e preparo do solo.....	20
3.2. Localização do experimento.....	20
3.3. Instalação e condução do experimento	21
3.4. Análises químicas da planta e do solo	23
3.5. Avaliação dos tratamentos	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. Análise do solo antes da semeadura do arroz	25
4.2. Resposta das plantas de arroz às doses e fontes de fósforo.....	27
4.3. Fósforo recuperado do solo pelos extratores Mehlich-1, Olsen e Resina.....	36
4.4. Resposta do arroz ao fósforo recuperado pelos extratores	43
5. CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

COMPARAÇÃO ENTRE FONTES DE FÓSFORO ATRAVÉS DE TRÊS EXTRATORES QUÍMICOS DO SOLO E PLANTAS DE ARROZ

Autor: Reynaldo Rocha Beltrán

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira

RESUMO

A disponibilidade de fósforo no solo foi avaliada em experimento realizado em casa de vegetação, utilizando amostras de um solo Areia Quartzosa, do Bairro de Riberão Claro, Piracicaba - S.P..

Utilizou-se cinco adubos fosfatados: fosfato natural Alvorada, fosfato monoamônio, superfosfato simples, superfosfato triplo e termofosfato-Yoorin, os quais foram misturados ao solo nas quantidades: 0, 100, 200 e 300 μ gP/g de solo, e incubados durante 60 dias, ao término dos quais fez-se a análise química para caracterizar o solo. Cultivou-se também o arroz cultivar IAC-165 como planta teste por 32 dias. obtendo-se o peso do material seco da parte aérea das plantas e determinou-se os nutrientes nela contidos.

Analisou-se o fósforo nas amostras de terra pelos métodos de extração: Mehlich-1 (H_2SO_4 0,025N + HCl 0,05N), Olsen (NaHCO_3 a pH 8,5) e Resina trocadora de íons. Determinou-se também os teores de K, Ca, Mg, matéria orgânica, $\text{H}+\text{Al}$ e o pH em CaCl_2 .

No material seco determinou-se o porcentagem de P e calculou-se o P absorvido, que juntamente com o peso da parte aérea foram correlacionados com os teores de fósforo extraídos do solo pelos três métodos.

Os adubos termofosfato, superfosfato simples e superfosfato triplo aumentaram o pH do solo

Os adubos monofosfato de amônio e superfosfato simples na dose 200 $\mu\text{gP/g}$ de solo, proporcionaram maiores pesos de material seco da parte aérea nas plantas de arroz.

Os teores de fósforo absorvidos pelo arroz foram mais elevados nos tratamentos que receberam monofosfato de amônio e superfosfato simples na dose 300 $\mu\text{gP/g}$ de solo.

Os três extratores utilizados para comparar as fontes de fósforo apresentaram pequena diferença na extração de P e todos correlacionaram-se positivamente com os parâmetros avaliados (matéria seca, porcentagem de fósforo e fósforo absorvido pelo arroz), porém o extrator de Olsen correlacionou-se melhor com a resposta do arroz às doses de fósforo utilizadas em cada fonte de adubo fosfatado.

COMPARISON BETWEEN PHOSPHORUS SOURCES USING TREE SOIL CHEMICAL EXTRACTORS AND RICE PLANTS

Author: **Reynaldo Rocha Beltrán**

Adviser: **Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira**

SUMMARY

An experiment was carried out in greenhouse conditions using an acid and low phosphorus soil (Areia Quartzosa, Riberão Claro - Piracicaba - S.P.), to compare phosphate fertilizers, rates and extractors.

The phosphate fertilizers used were: Alvorada rock phosphate, ammonium monophosphate, simple superphosphate, triple superphosphate and Yoorin thermophosphate. The phosphates were mixed with the soil, at rates of 0, 100, 200 and 300 $\mu\text{gP/g}$ of soil and incubated for 60 days.

To evaluate the direct effect of these phosphates a pot experiment was conducted using rice (variety IAC-165) as indicator plant and 32 days later the above-ground parts were cut, dried and weighed.

Phosphorus in soil samples were analysed using the following extractors: Mehlich-1 (H_2SO_4 0.025N + HCl 0.05N), Olsen (NaHCO_3 pH 8.5) and ion exchange resin (IR-120 strong acid and IRA-400 strong base) and the content of K, Ca, Mg organic matter and H + Al and the index pH in CaCl_2 was determined.

The dried matter, P content and P absorbed by the above ground parts was correlated with the P recovered by the chemical tree methods.

The fertilizers Yoorin termophosphate, simples superphosphate e triple superphosphate possibilited increases of soil pH

The fertilizers MAP and SPS in the rate 200 $\mu\text{gP/g}$ of soil, allow major dry matter in above ground parts of rice plants.

The amount of phosphorus absorbed was higher for MAP and SPS in the rate 300 $\mu\text{gP/g}$ of soil.

Little diferences bettween soil chemical P-extractors and a positive correlation with the evaluated parameter was observed. Olsen's extractor showed the best correlation with rice response to rates and sources of P.

1. INTRODUÇÃO

O fósforo é um dos três macronutrientes primários das plantas. Embora as quantidades desse nutriente requeridas pelas plantas sejam pequenas, quando comparadas com outros macronutrientes tais como, nitrogênio e potássio por exemplo, ele é utilizado em maiores proporções nas adubações, devido ao fato de uma boa parte do nutriente contido no adubo ser fixado no solo, passando a formas não aproveitáveis pelas plantas, sendo necessário então, a aplicação de grandes quantidades em relação ao que a planta realmente precisa, principalmente em solos ácidos.

Os solos brasileiros tem pouco fósforo disponível às plantas e para contornar essa deficiência, são utilizadas grandes quantidades de adubos fosfatados, sendo que a materia prima principal para fabricação dos mesmos é esgotável, não renovável e insubstituível, o que poderá no futuro provocar uma carência total desta fonte.

A existência de diferentes fontes de fertilizantes fosfatados, com características próprias, quanto à sua solubilidade, tais como: os fosfatos acidulados, os fosfatos térmicos e outros, dificulta a recomendação. Comparando-se os fosfatos insolúveis em água, mas solúveis em ácido cítrico a 2%, como os termofosfatos, com os insolúveis em água e em citrato neutro de amônio, como os fosfatos naturais, RAIJ et al (1982) verificaram que os solúveis em água

são mais eficientes, porém sua maior limitação é o seu custo elevado, pois na sua fabricação, eles requerem processos químicos e térmicos complicados.

"É importante ressaltar, que para as atuais reservas brasileiras conhecidas e supondo uma taxa anual de crescimento da demanda de 5%, sua duração está limitada a aproximadamente 40 anos. Outro fato que deve ser levado em consideração, são as altas perdas de fósforo, que ocorrem desde a etapa de lavra até a assimilação pelas culturas. Essas perdas podem chegar até 98%" (IPT, 1990)

Os altos investimentos iniciais, com a adubação fosfatada, tem dificultado a exploração efetiva do potencial do solo, pois a correção da deficiência de fósforo se faz normalmente pela aplicação de fosfatos altamente solúveis, como são os superfosfatos simples e triplo e o fosfato de amônio. Esses adubos ao se dissolverem em água, transformam-se em ácido fosfórico (H_3PO_4) e fosfato ácido de cálcio ($CaHPO_4$). Essa solução ácida que se forma no solo, exerce um efeito marcante na disponibilidade de P para as plantas, uma vez que o H_3PO_4 produzido concorre para a dissolução dos óxidos de Fe, Al e Mn, acelerando o processo de fixação de P. Em razão disso, a adubação fosfatada é uma prática indispensável para obtenção de altas produtividades.

A falta de seletividade dos extratores na dissolução dos fosfatos do solo, tem levado a uma variação nos resultados da análise de fósforo "disponível" para as plantas. Considerando que, a quantidade de P extraída deve ser correlacionada com a produção pela planta. o conhecimento das formas de P, relacionadas com o P "disponível" obtido pelos extratores, é importante porque permite identificar as formas extraídas preferencialmente em determinado solo e, conseqüentemente, escolher um método mais adequado para uma área particular.

O uso de extratores adequados para os diferentes tipos de solo, tem sido sempre uma grande preocupação dos pesquisadores ao longo dos anos, não se tendo até o momento um extrator que imite a planta, no que se refere a extração do fósforo do solo, nas formas e em quantidades que ela própria o faria.

Há dúvidas, na aplicação de fertilizantes fosfatados, quanto aos processos que levam ao baixo aproveitamento pelas plantas e o uso de um extrator adequado ao nível de laboratório, que permita avaliar com bastante certeza o P realmente disponível para a planta, considerando ainda que o comportamento tanto dos fertilizantes como dos extratores é diferente para cada solo e para cada cultivo, justifica-se o estudo de alguns fatores que possam interferir nesses processos.

O objetivo deste trabalho foi o de avaliar a disponibilidade do fósforo no solo para as plantas, utilizando-se cinco fontes de adubos fosfatados, três métodos de extração e o arroz como planta teste.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Fósforo no solo

Os solos tropicais de uma maneira geral caracterizam-se por ter baixa disponibilidade de fósforo para as plantas, devido ao baixo teor de bases, elevada acidez com alta capacidade de fixação desse nutriente, e atribui-se a este fato, as grandes respostas à adubação fosfatada e à aplicação de elevadas doses de fósforo ao solo (RAIJ, 1991).

Segundo VOLKWEISS & RAIJ (1977), apesar da baixa disponibilidade de P, o teor total presente no solo é relativamente alto, da ordem de 100 a 200 ppm de P, sendo que a quase totalidade está fazendo parte dos compostos sólidos orgânicos e inorgânicos de baixa solubilidade (P-sólido), restando teores muito baixos, em geral menos de 0,1 ppm, dissolvidos na solução (P-solução).

O fósforo na solução do solo (P-solução) está em equilíbrio com a da fase sólida (P-sólido), o que pode ser representado, de forma simplificada da seguinte forma:

Essa representação descreve bem, o equilíbrio do P no sistema solo-planta, mostrando que a disponibilidade para as plantas está diretamente ligada à concentração do elemento na solução do solo. Muito pouco P está em solução (usualmente menos do que 0,1% em solos virgens) e a maior parte (frequentemente mais de 90%) encontra-se como P-não Lábil. Conclui-se então que solos contendo 400 ou 600 kg/ha (200 a 300 ppm), de P total são extremamente deficientes nesse nutriente para as culturas, sendo portanto necessário, para manter-se um nível adequado de P disponível (P-solução), elevar-se o nível das demais formas. Por isso, quando o P é adicionado via fertilizantes, grande parte se destina a elevar o nível do P-sólido (P-lábil e P- não lábil) (GOEDERT & SOUSA, 1984)

COREY (1973) afirma que, os mecanismos através dos quais o P da solução do solo pode chegar até a zona de absorção das raízes são: interceptação radicular, fluxo de massa e difusão, sendo destes o mais importante o da difusão. MELLO et al. (1980) consideram que, a deficiência de fósforo é um dos principais fatores limitantes da produção agrícola.

Segundo RAIJ (1984), quatro fatores definem a disponibilidade do P na solução do solo: Fator Intensidade, representado pela concentração de P na solução do solo; Fator Quantidade, representado pelo P que pode passar para a solução do solo, chamado P-lábil; Fator Capacidade ou também chamado poder tampão de P, representado pela condição do solo em poder manter ou restabelecer o P da solução em níveis adequados, através da dissolução do elemento da fase sólida; e Fator Difusão, representado pelas características que permitem aos íons fosfato sair da superfície da fase sólida do solo, e chegar até a superfície das raízes.

O fósforo que está na solução do solo é considerada como mais disponível para as plantas. O fosfato inorgânico da solução do solo está em equilíbrio com os fosfatos da fase sólida, adsorvidos ou combinados com fosfatos de cálcio, alumínio ou ferro. O fosfato contido na matéria orgânica, pode também incrementar os fosfatos inorgânicos no sistema P-lábil/P-solução, através de processos de mineralização (RAIJ, 1978).

JORGE & VALADARES (1969) determinaram, as formas em que se encontra o P nativo de dez solos importantes do Estado de São Paulo, e concluíram que, a maior parte do P encontrado nesses solos estava ligado ao ferro (P-Fe), com exceção do solo Terra Roxa Estruturada que apresentou alto teor de P ligado ao cálcio (P-Ca), forma considerada aproveitável pelas plantas

MANDAL & DAS (1970) estudando a transformação de fosfato solúvel aplicado em solos ácidos inundados, verificaram um aumento diferenciado das formas P-Al e P-Fe nos solos e um decréscimo da forma P-Ca, atribuindo essas respostas aos conteúdos de Fe_2O_3 total e de ferro ativo.

GOEDERT & LOBATO (1980) afirmaram que, quando um fertilizante fosfatado é adicionado ao solo, ele deve ser dissolvido na solução do solo, e isto significa que, o P fertilizante transforma-se em P-solução.

A maioria das espécies cultivadas produz mais quando o pH do solo está na faixa de 6,0 - 6,5. Em um experimento em solução nutritiva utilizando diferentes espécies de plantas, MALAVOLTA (1980) verificou que, o crescimento máximo ocorreu em geral quando o pH da solução foi mantido entre 6,0 e 6,5, sendo que nos valores extremos ($\text{pH} > 9$ e < 3) as plantas morreram. O pH muito baixo prejudicou a absorção de N e, em escala ainda maior a de K e, principalmente, a de P e Ca. A absorção de P foi impedida quando o pH era 9,0.

O autor afirma ainda, que a disponibilidade máxima do fósforo aconteceu quando o pH da solução do solo estava ao redor de 6,5; é que os valores mais baixos favorecem a formação de fosfatos de Fe e de Al de baixa disponibilidade; a elevação do pH, por sua vez conduz à precipitação do P (solução) como fosfatos de cálcio de menor disponibilidade, ocorrendo a "fixação" do íon H_2PO_4^- no solo.

2.2. Fósforo na planta

O fósforo é um dos macronutrientes primários que a planta necessita em menores proporções para viver. É considerado essencial pois, se houver falta a planta não completa o seu ciclo de vida e morre de "fome" de fósforo (MALAVOLTA, 1985).

Segundo FAGERIA (1984) a função que o fósforo desempenha no processo fotossintético é importante, sendo responsável pela acumulação e pelo uso de energia nos vários processos metabólicos. O efeito do fósforo na fisiologia das plantas de arroz é observado pelas seguintes características: formação de células, desenvolvimento das raízes; formação de grãos; melhoria na qualidade dos grãos; processo de maturação e; resistência aos estresses ambientais.

Em geral, a necessidade de adubação fosfatada para o arroz irrigado é menor do que para culturas de sequeiro. Isto deve-se ao aumento da disponibilidade de fósforo do solo, causado pela inundação, e explica porque os solos arrozeiros, em geral com baixo teor de P disponível, quando mantidos secos, apresentam uma resposta relativamente baixa dessa cultura à adubação fosfatada. Devido à baixa mobilidade do P no solo e a sua grande translocação

dentro da planta, este nutriente é importante no início do crescimento, obtém-se em geral, os melhores resultados com a aplicação de todo o P na sementeira. A difusão do P no solo e o transporte pelo fluxo de massa para as raízes do arroz são favorecidos pela submergência. Nos solos inundados, também as diferenças nas respostas do arroz às diferentes fontes de P são minimizadas, quando comparadas com as condições de sequeiro. Os fosfatos naturais de boa qualidade, finamente moídos, isolados ou misturados com fosfatos solúveis em água, têm mostrado tão boa eficiência quanto esses últimos, isoladamente (MACHADO, 1985). As condições de oxirredução do solo afetam diretamente as formas inorgânicas do fósforo, favorecendo principalmente, o incremento do P-Fe e o decréscimo de P-solúvel, em ambiente redutor (PATRICK Jr. & MAHAPATRA, 1968).

GOEDERT et al. (1971), estudando as formas de P e a sua disponibilidade para o arroz irrigado em solo ácido, constataram que os fosfatos de Fe são os mais abundantes entre as formas de P inorgânico e, que essa fração é a fonte mais importante de P disponível para a cultura do arroz. Estudando a disponibilidade e as formas de P para a cultura do arroz irrigado, os autores verificaram uma relação estreita entre produção de arroz e os teores de P na forma "disponível" pelo método Mehlich-1, sendo o P ligado ao ferro (P-Fe), a forma mais importante de P para o arroz.

O fósforo é absorvido pelas plantas nas formas de ortofosfato H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , com predominância do primeiro, como consequência não só do efeito do pH sobre a abundância dessa espécie iônica em solução, mas também por um decréscimo marcante de absorção de fósforo em função da elevação do pH da solução (MENGUEL & KIRKBY, 1987)

MORAES (1973), estudando a disponibilidade do P para as plantas em alguns solos de México, constatou deficiência de P em plantas de arroz irrigado, não pela falta do nutriente e sim pela inibição de sua absorção pelas raízes, apontando como causas, o acúmulo de ácidos orgânicos e H_2S na camada reduzida do solo, bem como o excesso de Fe-ferroso nos solos ácidos, quando ocorre intensa absorção de Fe e esse nutriente combina-se com o fósforo ao nível radicular, sendo a translocação deste inibida. PONANMPERUNA (1964) entretanto, afirma que a oxidação do Fe na rizosfera do arroz, causa a precipitação do P na forma de $FePO_4$ e que, portanto, o aproveitamento da maior disponibilidade do P causada pela inundação do solo pode ser, notadamente reduzida e a absorção do P prejudicada. O fato do ferro inibir a absorção do P, seja ao nível radicular ou ao nível da rizosfera, torna necessário utilizar-se corretivos, que diminuam sua ação tóxica e, com isso, se consiga um melhor aproveitamento do P do solo e do P aplicado ao solo inundado

OLIVEIRA et al.(1984), comparando os efeitos de diferentes doses de P_2O_5 sobre a produção de grãos e a altura das plantas de trigo, verificaram aumentos significativos com o aumento das doses de P_2O_5/ha . MORAIS & GONTIJO (1978), em um experimento com arroz de sequeiro no Triângulo Mineiro, encontraram que as máximas produções foram obtidas com doses de 70 a 80 kg de P_2O_5/ha (35 a 40 $\mu g/g$ de solo), associadas a 60 kg de N/ha e 60 kg de K_2O/ha (30 $\mu g/g$). Respostas lineares a 120 kg de P_2O_5/ha (60 $\mu g/g$) foram igualmente obtidas por SOUZA et al. (1978) com a cultura do trigo nos mesmos solos.

Todas as culturas removem pequenas quantidades de fósforo do solo. Dos três macronutrientes, ele é o menos absorvido pelas plantas. A

quantidade removida, está em torno de 5 kg por hectare por ano e concentra-se principalmente nas flores e frutos, sendo considerado o principal agente de polinização e frutificação das plantas (COELHO & VERLENGIA, 1973).

2.3. Comparação entre fontes de fósforo

Diversos pesquisadores vem desenvolvendo pesquisas, com o objetivo de avaliar a eficiência agrônômica das diferentes fontes de fósforo existentes no mercado.

Nas jazidas em exploração atualmente, a maior parte da tecnologia de transformação da rocha fosfatada em fertilizantes, obedece ao seguinte processo: jazida → fosfato natural concentrado → fosfatos solúveis (superfosfatos, fosfato monoamônio e fosfato diamônio) (GOEDERT & SOUSA, 1984).

Existem basicamente duas rotas de solubilização do fósforo: via úmida e via térmica. A primeira caracteriza-se pelo ataque com ácido sulfúrico ao concentrado fosfático que, dependendo das condições do processo e da reação estequiométrica, pode produzir diretamente superfosfato simples, fosfato parcialmente acidulado ou ainda, produzir ácido fosfórico, que pode então originar o superfosfato triplo (obtido pelo ataque deste ácido ao concentrado). Os fosfatos mono (MAP) e diamônio (DAP) são obtidos pela reação entre o ácido fosfórico e amônia em proporções adequadas (IPT, 1990)

A maior parte do fósforo do solo é proveniente da intemperização da apatita, mineral que contém fósforo e cálcio, além de outros elementos, como o fluor e o cloro. À medida que a apatita desintegra-se e libera o fósforo no solo,

vários compostos de fósforo são formados, incluindo-se os dois ortofosfatos (H_2PO_4^- e HPO_4^{2-}), que são absorvidos pelas plantas. Essas formas geralmente são solúveis e podem ser encontradas dissolvidas, em pequenas quantidades, na solução do solo (LOPES, 1989).

Segundo VIEGAS et al. (1961), o fosfato natural (fosfato de rocha) é obtido pela extração direta de depósitos de minérios de fosfatos que ocorrem na natureza. Os fosfatos naturais dividem-se em dois grupos: os cristalinos e os sedimentares, os primeiros são duros, estáveis e insolúveis em água e os segundos são amorfos, menos estáveis e insolúveis em água (COOKE, 1967). Os fosfatos de origem sedimentar, quando comparados com os fosfatos de origem ígnea, são mais solúveis, devido às substituições que envolvem principalmente o PO_4^{2-} por $\text{CO}_3^{2-} + \text{F}^-$ ou $\text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^-$, que alteram a estrutura do cristal, diminuindo o seu tamanho e sua estabilidade (LEHR & McLELLAN, 1972).

Os superfosfatos são os fertilizantes fosfatados mais usados, e desses, os mais importantes são: o superfosfato simples e o triplo (fosfato de cálcio). Este último normalmente é usado como padrão para comparar a eficiência agrônômica de fosfatos (GOEDERT & LOBATO, 1980; BRAGA et al., 1991; GOEDERT et al., 1990).

Em um ensaio em vasos GARGANTINI & SANTOS (1971), observaram a superioridade do termofosfato na produção de grãos de soja e de matéria seca, quando comparado a outras fontes de P.

Vários experimentos de comparação de fontes de P em quinze estados do oeste norte-americano, mostram que, os superfosfatos simples e triplo, o fosfato diamônio e o ácido fosfórico líquido, foram mais efetivos do que o

fosfato bicálcico, o fosfato tricálcico e o fosfato natural (Peterson et al., 1953¹; citado por SEATZ et al., 1963).

Durante quatro anos, onze fontes de fósforo foram testadas no campo por GOEDERT & LOBATO (1980), em um latossolo vermelho escuro, sob vegetação de cerrado, usando a sequência de culturas anuais: trigo, soja e arroz. Eles chegaram à conclusão que as fontes são agronomicamente eficientes, na seguinte ordem: 1. Superfosfato triplo, termofosfato magnésiano e fosfato de gafsa; 2. Termofosfato IPT, fosfato de Pirocaua, e fosfatos naturais de Flórida e do Tennessee; 3. Fosfatos naturais de Patos de Minas, Araxá e Abaeté; 4. Fosfato natural de Catalão.

GARGANTINI & FEITOSA (1974), estudando o comportamento de diversas fontes de fósforo (superfosfato simples e triplo, fosfato diamônio, termofosfato e fosfato natural (apatita de Araxá)), verificaram que no período de 15 a 360 dias após a aplicação dos adubos, os teores de P extraído pelo H_2SO_4 0,05N não mostraram variação com relação ao tempo de contato do solo com os adubos, contudo, comparando os teores de P extraídos das amostras tratadas pelos diversos adubos, verificaram diferenças significativas.

SALGADO et al. (1984) testaram a resposta da crotalária à diversos adubos fosfatados, em diferentes tipos de solo e regiões paulistas, considerando-se a produção de massa verde e de sementes. Esses adubos acompanhados de N e K, foram SPS, SPT, fosfato de Araxá, termofosfato, farinha de ossos degelatinada e Yoorin. Os resultados dos experimentos revelaram que os adubos fosfatados não apresentaram grandes efeitos sobre a produção de material verde e sementes das culturas.

¹PETERSON, F.J. et al. Response of rice fertilizer phosphorus and potassium. Bulletin 569. Louisiana. Louisiana State University. 1953.

Em solos pouco ácidos e pobres em P disponível, MALAVOLTA et al. (1981), ao comparar a eficiência do fosfato natural parcialmente acidulado com ácido sulfúrico (FAPS), com a do superfosfato simples (SPS) e a do fosfato de Araxá (FA) original, utilizando as culturas de arroz de sequeiro, milho e soja, concluíram que: 1) O efeito do FAPS não diferiu significativamente daquele do SPS, sendo superior ao do FA, em termos de produção; 2) O FAPS comportou-se como fonte de P, Ca e S para as três culturas; 3) Tanto o FAPS como o SPS aumentaram os teores disponíveis de P, Ca e S na planta e no solo; 4) O FAPS teve um comportamento muito mais parecido com o do SPS do que com o FA original.

FERNANDES et al. (1984), trabalhando com diferentes fontes de adubos fosfatados e diferentes níveis de P_2O_5 /ha. em dois cultivos sucessivos, utilizando a soja como planta teste, encontraram os seguintes resultados: a) Resposta significativa da cultura à adubação fosfatada; b) O termofosfato magnésiano apresentou comportamento semelhante ao SPT no primeiro cultivo, e foi superior a ele quanto aos efeitos residuais; c) O FA, comparado ao SPT, apresentou eficiência superior a 80%, com ou sem manutenção, possuindo portanto, condições para ser empregado na adubação corretiva em solos com baixa fertilidade.

Em um ensaio em vasos realizado para estudar os efeitos dos fertilizantes fosfatados (SPS, termofosfato e fosforita de Olinda), sobre o pH e o teor de Al^{+3} trocável de dois solos (Orthic Haplacrox e Orthic Hapludent) do município de Piracicaba-SP, AZEVEDO FILHO et al. (1988) concluíram que, o termofosfato reduziu tanto a acidez ativa (pH), quanto a acidez trocável (Al^{+3}

trocável) em ambos solos. A fosforita de Olinda e o superfosfato simples reduziram a acidez de troca, mas afetaram muito pouco o pH dos dois solos.

2.4. Avaliação da disponibilidade de fósforo

Existe uma variação muito grande nos métodos de extração de fósforo, em uso nas diferentes regiões do mundo, o que não deixa de ser um reflexo da complexidade do comportamento do elemento, bem como da falta de concordância sobre qual seria o método mais adequado (RAIJ, 1991).

Para a extração de fósforo do solo, as mais variadas soluções (água, soluções tamponadas de ácidos fracos, soluções tamponadas de bases e soluções de sais diversos) tem sido testadas com várias combinações de: concentração, pH, relação solução:solo, tempo de agitação e outros (RAIJ & QUAGGIO, 1983).

KAMPRATH & WATSON (1980) classificaram as reações pelas quais o fósforo é extraído do solo, em quatro: 1) Ação solvente de ácidos: as soluções usadas tem pH geralmente entre 2 e 3, garantindo a dissolução de fosfatos de cálcio principalmente e em menor intensidade os fosfatos de ferro e alumínio; 2) Substituição de ânions: os fosfatos adsorvidos na superfície do solo podem ser substituídos por outros ânions, tais como sulfato, citrato, lactato ou acetato; 3) Complexação dos cátions combinados com fósforo; o íon mais utilizado é o fluoreto (F^-), que é muito eficiente na complexação do alumínio, liberando assim o fósforo ligado a esse metal; 4) Hidrólise dos cátions combinados com fósforo: em soluções com pH mais elevado o P ligado ao Fe e Al é liberado por hidrólise dos metais. Os mesmos autores afirmam que, a solução

de bicarbonato de sódio a pH 8,5, é muito mais eficaz na extração de P ligado ao Fe, Al e Ca e; extratores de natureza ácida, como Mehlich-1 (HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N), mostram uma atividade do íon H^+ suficiente para solubilizar os fosfatos de cálcio e em menor intensidade o fósforo ligado ao alumínio e ferro. Segundo THOMAS & PEASLEE (1973), esse extrator é indicado para solos com baixa capacidade de troca de cátions, altamente intemperizados e que contenham pouco ou nenhum fósforo ligado ao cálcio .

Comparando diferentes fontes de fósforo em relação à extração pelos métodos IAC, Bray-1 e Olsen, FERNANDES et al. (1984a) encontraram que, na incorporação do SPT e termofosfato magnesiano (T-Mg), os três extratores foram eficientes em recuperar o fósforo do solo. Na incorporação do fosfato de Araxá (FA), o método de Olsen foi o mais estável na recuperação do fósforo do solo e em função do tempo de incorporação para as fontes SPT e T-Mg. Para o FA os métodos Bray-1 e Olsen foram os mais estáveis. A partir da amostragem 960 dias após a incorporação do FA os três métodos tenderam a se igualar na extração de fósforo.

Utilizando quatro níveis de P aplicados em cinco solos do Estado de São Paulo e a cultura do feijão como palanta teste, NEPTUNE & PEREZ (1987) chegaram às seguintes conclusões: 1) Houve resposta significativa do P adicionado aos solos; 2) A utilização efetiva do P pela leguminosa foi baixa; 3) As melhores correlações do P solúvel com o material vegetal seco (MVS) e com o P total presente nele, foram obtidas com os extratores IAC e Mehlich-1 ($r=0,94$), e 4) Os dois extratores usados para o P orgânico produziram correlações similares com o MVS e o P total presente neste material ($r=0,69$). Esses mesmos pesquisadores, compararam vários métodos de extração do P solúvel, P orgânico e

P total em cinco solos do Estado de São Paulo e chegaram às seguintes conclusões: Os melhores extratores para o P solúvel foram IAC (H_2SO_4) e Mehlich-1 (H_2SO_4 0,025N + HCl 0,05N); para remover e medir o P orgânico os extratores foram equivalentes ; o método químico de Sommers e Nelson (digestão perclórica) e o de Jackson (fusão com Na_2CO_3 e extração com H_2SO_4) foram os melhores para medir o P total no solo.

EKPETE (1976), utilizando 13 amostras de solos da Nigéria cultivados com arroz e cinco métodos para avaliar o fósforo disponível (Bray1 e 2, Truog, EDTA e Olsen), encontrou que, o extrator Olsen foi o mais eficiente na predição da disponibilidade de P nas amostra de solo, tanto inundadas quanto secas.

ROJAS (1976), estudando 47 amostras superficiais de Talca e Nubre, no Chile, encontrou correlações significativas entre a absorção de P pelas plantas de arroz com o fósforo extraído pelos métodos Mehlich-1 ($r=0,88$) e Resina ($r=0,80$), sendo superiores aos métodos Olsen ($r=0,71$), Bray-2 ($r=0,68$) e Bray-1 ($r=0,63$).

Comparando os extratores Mehlich-1 e Resina na avaliação do P disponível no solo para gramíneas forrageiras e utilizando os resultados de dois experimentos de adubação fosfatada, um realizado em casa de vegetação e outro no campo, CORRÊA & HAAG (1993), através de correlações entre o P extraído com cada extrator e a produção relativa de material seco, o P extraído e o teor de P na planta, concluíram que os dois extratores foram eficientes e similares na avaliação do P disponível para as plantas, sendo que o método da Resina apresentou maior capacidade de extração do P aplicado.

GRANDE et al. (1986), em um experimento em casa de vegetação e utilizando oito solos do Estado de Minas Gerais com diferentes teores de fósforo disponível, dois extratores de P e o arroz como planta teste, através da análise de regressão utilizando-se o fósforo absorvido e a produção de material seco como parâmetros da disponibilidade de P no solo, chegaram as seguintes conclusões: 1) O extrator Mehlich-1 mostrou-se pouco eficaz para prever a disponibilidade de fósforo para o arroz mantido em condições de inundação; 2) A Resina trocadora de íons pareceu ser o extrator mais adequado para avaliar a disponibilidade do P para o arroz irrigado; 3) A eficiência do extrator Mehlich-1 pode ser aprimorada, considerando-se outros fatores, tais como, teores de matéria orgânica ou o P "total".

Um método que se tem mostrado promissor, e atualmente está sendo usado em quase todos os laboratórios de São Paulo, é o da resina trocadora de ânions (RAIJ & QUAGGIO, 1983). Nesse método, o solo é agitado em água junto com a resina e no processo, o fósforo passa do solo para a resina, de onde é removido posteriormente pela solução extratora.

2.5. Influência do tempo de incubação na extração de P

A quantidade de P-lábil no solo, proveniente da dissolução do fosfato natural, é diferente daquela proveniente do fosfato solúvel, pois neste último, a quantidade de P-lábil é máxima, logo após seu contato com o solo, decrescendo posteriormente de forma acentuada, enquanto o P-lábil no solo que

recebeu fosfato de rocha decresce lentamente com o tempo (Larsen, 1971², citado por VOLKWEISS & RAIJ, 1977).

Diversos experimentos mostram que a dissolução dos fosfatos naturais é mais lenta em relação à dos superfosfatos (SYERS & MACKAY, 1986; NOVAIS et al., 1980; MOREIRA, 1988).

Um estudo realizado por FEITOSA (1978), em casa de vegetação com dois tipos de solos, utilizando superfosfato triplo, termofosfato, hiperfosfato e fosfato natural (apatita de araxá), mostrou que a incubação dos mesmos por 10, 30 e 120 dias proporcionou pequena variação nos teores de fósforo.

As transformações dos fosfatos solúveis e insolúveis aplicados ao solo, ocorreram dentro dos primeiros 45 dias de incubação, não ocorrendo variações depois desse período até 120 dias (BARBOSA FILHO et al., 1987).

Em oito solos do estado de Paraná LOURENÇO (1971), verificou que a adsorção de fósforo já era alta com 5 a 10 minutos de reação, atingindo um estado de quase equilíbrio após 24 horas. Observou também, que a recuperação de P pelos extratores químicos é baixa em relação ao total adsorvido. Resultados semelhantes foram alcançados por REZENDE (1974), ao estudar o efeito da fixação de P em seis solos nordestinos, sendo que dos 2.000 ppm de P aplicados, 80-90 % já estavam retidos com 24 horas de contato com o solo.

Embora haja uma maior solubilização dos fosfatos naturais com o tempo de contato com o solo, essa reação nem sempre conduz a uma maior disponibilidade de fósforo para as plantas, isto foi verificado por CHIEN (1977), CABALA & SANTANA (1983) e NOVELINO et al. (1985), que encontraram decrescimos na produção de material seco e no fósforo absorvido pelas plantas,

²LARSEN, S. Residual phosphate in soils. In. Residual value of applied nutrients. Tech. Bull. 20: 34-41. H.M.S.O., Londres. 1971.

quanto maior foi o tempo de contato dos fosfatos naturais com o solo. A justificativa de NOVELINO et al. (1985) para o menor aproveitamento do fósforo liberado dos fosfatos pelas plantas, é que os compostos formados no solo com o decorrer do tempo apresentaram menor disponibilidade para as plantas, quando comparados com o superfosfato, que foi considerado como referência. Essa divergência é atribuída pelo autor, ao critério utilizado para avaliar o efeito do tempo de contato sobre a solubilidade e a disponibilidade dos fosfatos pois, além desse outros fatores como, espécie de planta, tipo de solo e, sobretudo, os produtos da reação solo-fertilizante, podem influir na disponibilidade do fósforo. Como as plantas absorvem o fósforo da fração lábil, pode-se prever que quanto mais lenta for a passagem de fósforo da fração lábil para fração não-lábil, maior será a capacidade do solo em suprir fósforo para as plantas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Amostragem e preparo do solo

Um solo ácido e com baixa concentração de fósforo disponível, fatores principais que influenciam a imobilização e evidenciam o comportamento do P adicionado através dos adubos fosfatados foi escolhido, para ser utilizado nas condições naturais, sem qualquer tratamento de correção do pH.

Amostras da camada arável, de 0 a 20 cm de profundidade, de um solo classificado como Areia Quartzosa, Série Riberão Claro, do município de Piracicaba, foram retiradas, secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura. Subamostras desse solo bem homogeneizadas foram submetidas à análises químicas e o resultado dessas análises são apresentadas na Tabela 1.

3.2. Localização do experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), em Piracicaba-São Paulo, no período de setembro de 1993 a janeiro de 1994.

Tabela 1. Resultado das análises químicas do solo antes da aplicação dos adubos fosfatados

pH	MO	P ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)			K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
CaCl ₂	%	Meh	Ols.	Res.	-----meq/100 cm ³ -----						%
3,9	1,1	4	2	3	0,04	0,8	0,4	3,1	1,2	4,3	29

3.3. Instalação e condução do experimento

Os fertilizantes em estudo: fosfato natural (Alvorada), superfosfato simples (SPS), superfosfato triplo (SPT), fosfato monoamônico (MAP) e termofosfato (Yoorin), nas doses 0, 100, 200 e 300 $\mu\text{gP/g}$ de solo, foram bem homogeneizados com 3 kg de terra e incubados em vasos de cerâmica impermeabilizados internamente com neutrol, por um período de 60 dias, durante o qual a umidade do solo foi mantida próxima da capacidade de campo, através de irrigações periódicas com água destilada, sendo que e as eventuais ervas daninhas que apareceram foram eliminadas manualmente.

Realizou-se a análise dos adubos fosfatados, segundo a metodologia descrita por ALCARDE et al (1990). Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Ao término do período de incubação, a terra contida em cada vaso foi novamente seca ao ar, destorroada e passada em peneira com malha de 2 mm de abertura. Após homogeneização, retirou-se amostras para a determinação de P pelos extratores, assim como K, Ca, Mg, determinação de pH, matéria orgânica e H+Al. O restante da terra foi dividida em quatro subamostras e

transferidas para vasos de cerâmica de 500 g, também impermeabilizados internamente com neutrol

Tabela 2. Resultado das análises do Teor de P_2O_5 dos adubos fosfatados utilizados e algumas das suas principais características

Fertilizante	Porcentagem de P_2O_5 total	Observação*
Fosfato natural-Alvorada (FN)	34,70%	Contém aproximadamente 25% de Ca
Monofosfato de amônio (MAP)	52,84%	Contém aproximadamente 9% de N
Superfosfato simples (SPS)	19,81%	Contém aproximadamente 19% de Ca e 11% de S
Superfosfato triplo (SPT)	48,08%	Contém aproximadamente 13% de Ca
Termofosfato-Yoorin (TER)	18,20%	Contém aproximadamente 19% de Ca e 7% de Mg e corrige acidez do solo

*ALCARDE et al. (1990)

O delineamento experimental para a distribuição dos tratamentos foi, o inteiramente casualizado em esquema fatorial: 5 x 3 (5 fontes x 3 doses) com 4 repetições, perfazendo um total de 60 unidades experimentais.

Utilizou-se como planta teste o arroz (*Oriza sativa L.*), cultivar IAC-165, de sequeiro e ciclo médio, cedida pelo Laboratório de Sementes do Departamento de Agricultura da ESALQ/USP

A semeadura foi efetuada no dia 12/01/94, utilizando 20 sementes por vaso, deixando 11 plântulas por ocasião do desbaste que ocorreu 12 dias após a semeadura. A umidade do solo foi calculada para reter 70% da

capacidade de campo, repondo-se a perda com irrigações diárias utilizando água destilada.

Efetuuou-se duas adubações de cobertura, via água de irrigação com 150 mg de nitrato de amônio, como fonte de N (100 ppm de N) e 100 mg de cloreto de potássio, como fonte de K (100 ppm de K) por vaso; aplicou-se também uma solução de ZnSO_4 a 5%, como fonte de Zn, pulverizando via foliar. Realizou-se também um tratamento fitossanitário com o inseticida sistêmico Decis, para evitar a incidência de pragas, utilizando-se a dosagem de 1 ml do produto para 10 ml de água.

A parte aérea das plantas foi colhida com 32 dias de idade, mediante o corte rente à superfície do solo, condicionada em sacos de papel e posta para secar em estufa, com circulação de ar forçada a 60° C, até peso constante, sendo então pesadas, moidas e guardadas em sacos de papel isento de P e outros elementos de interesse.

3.4. Análises químicas da planta e do solo

O material vegetal foi submetido à digestão nítrico-perclórica, para a determinação de P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu e Mn; à digestão ácida a quente para N; e à incineração a 550° C até obtenção de cinza branca para B. Após o preparo dos extratos, a determinação de P, S e B, foi feita por colorimetria; N por titulação utilizando o método semi-micro-kjeldhal e o restante dos nutrientes por absorção atômica. As análises foram realizadas conforme as metodologias descritas por MALAVOLTA et al. (1989).

O fósforo do solo, ao final do período de incubação e após a colheita das plantas foi extraído pelos métodos: Mehlich-1 (HCl 0,05N e H₂SO₄ 0,025N), Olsen (NaHCO₃ a pH 8,5) e resina (resinas aniônica e catiônica), segundo as metodologias descritas por NELSON et al. (1953); OLSEN et al. (1954) e RAIJ & QUAGGIO (1983), respectivamente.

Determinou-se também a matéria orgânica, pH em CaCl₂ e H+Al, segundo metodologias descritas por RAIJ & QUAGGIO (1983).

3.5. Avaliação dos tratamentos

Os tratamentos foram avaliados através dos seguintes parâmetros: produção de material seco da parte aérea das plantas, porcentagem de fósforo e fósforo absorvido pela parte aérea das plantas. O fósforo extraído do solo pelos extratores Mehlich, Olsen e Resina foi correlacionado com a resposta do arroz às doses e fontes de fósforo.

A análise estatística dos dados foi feita utilizando-se do programa de computador SANEST. Para a comparação entre as médias foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, efetuou-se também análises de regressão e correlação, selecionando as equações observando os melhores coeficientes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise do solo antes da semeadura do arroz

O resultado das análises químicas do solo após a incubação com os fosfatos por um período de 60 dias e antes da semeadura do arroz, são apresentados na Tabela 3. Observa-se que as condições químicas do solo não são muito favoráveis ao desenvolvimento normal das plantas de arroz, devido a não ter sido realizada a calagem para corrigir a acidez do solo.

Dentre os fosfatos, o termofosfato atingiu o maior índice pH. Essa capacidade de corrigir a acidez do solo, também foi observada por MELLO et al (1981) e é devida ao íon silicato presente nos termofosfatos, os superfosfatos aumentaram ligeiramente o pH devido à liberação de OH^- na solução do solo. Observa-se também que o superfosfato simples e o próprio termofosfato aumentaram a saturação por bases (V%) até níveis considerados ótimos para o desenvolvimento das plantas de arroz (>50%).

Em geral os fertilizantes contribuíram para o aumento da V%, por terem cálcio na sua composição (fosfato natural Alvorada, superfosfato simples e superfosfato triplo) e magnésio (termofosfato Yoorin), exceto o monofosfato de amônio que não possui na sua constituição nenhum desses nutrientes, considerados como bases.

Tabela 3. Resultados da análise química do solo após 60 dias de incubação com os adubos fosfatados. Médias de 4 repetições

Fonte	Dose µgP/g	M.O %	pH	P - µg/cm³			K	Ca			Mg meq/100cm³	H+Al			SB	T	V %
				Meh.	Ols.	Res.		-----				-----					
FN	100	1,7	4,5	76	18	30	0,04	1,1	0,2	2,2	1,3	3,5	37				
	200	1,4	4,5	178	23	50	0,04	1,5	0,4	2,0	1,9	3,9	49				
	300	1,4	4,5	285	98	89	0,04	2,0	0,3	2,2	2,3	4,5	51				
MAP	100	1,4	4,0	62	53	44	0,05	0,6	0,3	3,4	1,0	4,4	23				
	200	1,4	4,3	134	101	126	0,03	0,9	0,3	3,1	1,2	4,3	28				
	300	1,7	4,3	196	167	147	0,05	0,6	0,2	3,4	0,9	4,3	21				
SPS	100	1,7	4,6	49	23	51	0,04	2,2	0,2	2,5	2,4	4,9	49				
	200	1,4	5,1	146	68	86	0,04	3,1	0,2	2,0	3,3	5,3	62				
	300	1,4	5,0	234	120	224	0,02	5,5	0,4	2,0	5,9	7,9	75				
SPT	100	1,4	4,5	49	48	35	0,05	1,1	0,3	2,5	1,5	4,0	38				
	200	1,2	4,5	133	96	109	0,03	1,5	0,3	2,5	1,8	4,3	42				
	300	1,4	4,6	225	151	227	0,03	1,8	0,3	2,5	2,1	4,6	46				
TER	100	1,5	6,5	53	37	65	0,06	2,8	1,6	1,2	4,5	5,7	79				
	200	1,4	6,6	141	129	167	0,05	3,6	2,4	1,1	6,1	7,2	85				
	300	1,5	6,7	210	151	189	0,05	4,2	2,9	0,9	7,2	8,1	89				
Test.	0	1,2	4,0	4	2	3	0,04	0,7	0,3	2,5	1,0	3,5	29				

FN: Fosfato natural (Alvorada) SPT: Superfosfato triplo
 MAP: Monofosfato de amônio TER: Termofosfato (Yoorin)
 SPS: Superfosfato simples

O P recuperado pelos três extratores não apresentou grandes diferenças sendo que, em geral o extrator Mehlich foi o que recuperou mais P.

4.2. Resposta das plantas de arroz às doses e fontes de fósforo

A análise de variância da produção de material seco da parte aérea das plantas de arroz (tabela 4), mostra os efeitos significativos das doses de fósforo ($\mu\text{gP/g}$ de solo) dentro de cada adubo fosfatado aplicado ao solo, sendo que, na dose 0 não houve diferença significativa entre os adubos na produção de material seco, para a dose 100 a maior produção foi obtida com o monofosfato de amônio (MAP), que não diferiu estatisticamente do superfosfato triplo (SPT) e do termofosfato-Yoorin (TER), estes dois últimos não diferiram do superfosfato simples (SPS), e o fosfato natural-Alvorada (FN) foi o que produziu menor quantidade de material seco, porque este fosfato tem baixa capacidade de manter níveis adequados de fósforo na solução.

Resultados semelhantes foram encontrados por GOEDERT & LOBATO (1980). Tal fato foi explicado pela não dissolução dos minerais fosfatados, pois em nenhum momento eles detectaram aumentos do P na solução do solo, acreditando que as partículas do fosfato natural tenham sido recobertas por uma camada de óxidos de Fe e Al, criando-se faces quebradas com desequilíbrio de carga, o que resultou em maior dificuldade na liberação de fósforo.

Na dose 200 a maior produção de material seco foi obtida com o MAP, seguido do SPS, SPT e TER que não diferiram estatisticamente e a menor produção foi obtida com o FN. Na dose 300 a maior produção de material seco

Tabela 4. Produção de material seco da parte aérea, porcentagem de fósforo no material seco e fósforo absorvido pela parte aérea das plantas de arroz, em função das doses de P para cada fonte de adubo fosfatado. Médias de quatro repetições

Fontes		Doses - $\mu\text{gP/g}$			
		0	100	200	300
M.S.	FN	0,91 c A	2,87 b C	2,98 b C	3,46 a A
g/vaso	MAP	0,94 d A	3,79 b A	4,19 a A	3,05 c BC
	SPS	0,97 c A	3,40 a B	3,65 a B	2,95 b C
	SPT	0,99 c A	3,60 a A B	3,47 a B	2,89 b C
	TER	1,02 b A	3,46 a A B	3,41 a B	3,33 a A B
C.V. % = 6,74		DMS 5%: fontes = 0,1856, doses = 0,1560			
P	FN	0,12 c A	0,43 b B	0,48 a b C	0,57 a C
%vaso	MAP	0,12 d A	0,31 c B	0,78 b B	1,33 a B
	SPS	0,12 d A	0,51 c A	0,83 b B	1,55 a A
	SPT	0,12 d A	0,52 c A	1,03 b A	1,24 a B
	TER	0,12 b A	0,56 a A	0,54 a C	0,52 a C
C.V. % = 10,21		DMS 5%: fontes = 0,0060, doses = 0,0050			
P	FN	1,10 c A	10,87 b B	14,45 b C	19,93 a C
mg/vaso	MAP	1,14 d A	11,76 c B	32,80 b A B	40,39 a B
	SPS	1,17 d A	17,44 c A	30,34 b B	45,71 a A
	SPT	1,21 c A	16,63 b A	35,77 a A	35,89 a B
	TER	1,25 b A	19,35 a A	18,67 a C	17,45 a C
C.V. % = 12,49		DMS 5%: fontes = 0,2334, doses = 0,4667			

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na vertical ou letras minúsculas distintas na horizontal diferem entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

foi obtida com o FN, que não diferiu do TER, que por sua vez apresentou-se estatisticamente semelhante ao MAP, e este último não diferiu do SPT e SPS. Isto não indica que o FN seja melhor as outras fontes, acontece que para as outras fontes a dose 200 foi suficiente para produzir o máximo de material seco.

ADAMS & ODOM (1985), constataram aumentos nos teores de Al em solução, com a aplicação de doses elevadas de adubos fosfatados. COSTA (1980), em ensaios com arroz de sequeiro no estado do Paraná, destacou que as respostas eram maiores para as menores doses de fósforo utilizadas.

A Figura 1 relaciona o fósforo adicionado ao solo como diferentes fontes de adubos fosfatados com a produção de material seco, mostrando efeitos quadráticos altamente significativos, com uma tendência de decréscimo a partir da dose 200 $\mu\text{gP/g}$, para todas as fontes, exceto o FN.

O resultado da análise do teor de fósforo no material seco, em função das doses, dentro de cada adubo fosfatado aplicado ao solo, mostrou efeitos significativos (tabela 4). Na dose 100 o TER provocou maior porcentagem de fósforo que foi estatisticamente semelhante ao SPT e SPS, os piores teores foram obtidos com o MAP e o FN.

Na dose 200 o SPT foi o adubo que apresentou maior porcentagem de fósforo, seguido do SPS e do MAP que foram semelhantes e do TER e FN que foram os piores. Finalmente na dose 300 o SPS foi o melhor, seguido do SPT e MAP que foram os semelhantes e os piores teores foram do FN e TER que também não diferiram estatisticamente. As testemunhas apresentaram menores porcentagens de P em relação aos tratamentos com adubos fosfatados.

A Figura 2 relaciona o fósforo adicionado ao solo na forma dos diferentes adubos fosfatados, com a concentração de fósforo no material seco,

Figura 1. Correlações estabelecidas entre a produção de material seco da parte aérea das plantas de arroz com as doses de P aplicados ao solo na forma de diferentes adubos fosfatados

Figura 2. Correlações estabelecidas entre a porcentagem de fósforo no material seco e as doses de P adicionadas ao solo na forma de diferentes adubos fosfatados.

da parte aérea das plantas de arroz, mostrando efeitos quadráticos altamente significativos para os adubos SPS, MAP, e TER e efeitos lineares altamente significativos para os adubos SPT e FN

O resultado da análise de variância do fósforo absorvido pela parte aérea das plantas de arroz em função das doses dentro de cada adubo aplicado ao solo, que é apresentado na Tabela 4, mostra que, o comportamento foi semelhante ao da porcentagem de fósforo no material seco.

A figura 3 correlaciona o fósforo adicionado ao solo na forma dos diferentes adubos fosfatados, com o fósforo absorvido pela parte aérea das plantas de arroz, mostrando efeitos quadráticos altamente significativos dos adubos SPT e TER e efeitos lineares altamente significativos dos adubos SPT, MAP e FN.

A tabela 5 apresenta o resultado da análise das porcentagens dos nutrientes: N, K, Ca, Mg e S, no material seco da parte aérea das plantas de arroz, em função das fontes e doses dos adubos fosfatados aplicados ao solo. Observa-se que para N na dose 100 $\mu\text{gP/g}$ não houve diferença significativa entre as fontes. A partir da dose 200 o N apresentou diferença significativa entre as fontes. Os outros nutrientes apresentaram diferenças significativas em todas as doses e fontes. Quando se comparou as doses, todas as fontes apresentaram diferenças significativas, com tendência da testemunha apresentar uma certa superioridade em relação aos tratamentos com adubos para N e K, devido ao efeito de diluição.

O resultado da análise de variância das quantidades de N, K, Ca, Mg e S, absorvidas pela parte aérea das plantas de arroz, em função das doses e fontes de adubos fosfatados aplicados ao solo (tabela 6), mostra que as diferenças também existiram. O N absorvido na dose 100 não apresentou diferença entre os

Figura 3. Correlações estabelecidas entre o fósforo absorvido pela parte aérea das plantas de arroz e as doses de P aplicados ao solo na forma de diferentes adubos fosfatados

Tabela 5. Teores de N, K, Ca, Mg e S, no material seco, em função das doses, para cada fonte de fertilizante fosfatado aplicado ao solo. Médias de quatro repetições

Fontes		Doses - $\mu\text{P/g}$ de solo			
		0	100	200	300
		-----%			
N	FN	2,05 a A	1,71 a b A	1,67 b B	1,50 b C
	MAP	2,05 b A	1,51 c A	1,81 b c A B	2,62 a A
	SPS	2,05 a b A	1,77 b c A	2,12 a A	1,65 c C
	SPT	2,06 a A	1,55 b A	1,76 a b A B	2,07 a A
	TF	2,06 a A	1,53 b A	1,66 b B	1,62 b C
C.V. % = 10,16		D.M.S.: fontes = 0,1863, doses = 0,1566			
K	FN	2,06 a A	1,09 b A	1,05 b A	0,97 b B
	MAP	1,92 a A	0,82 c B	0,80 c B	1,14 b A B
	SPS	2,05 a A	0,95 c A B	0,88 c A B	1,16 b A B
	SPT	2,05 a A	0,89 c B	0,96 c A B	1,29 b A
	TF	2,05 a A	0,90 b B	0,90 b A B	1,03 b B
C.V. % = 7,48		D.M.S.: fontes = 0,0929, doses = 0,0781			
Ca	FN	0,34 c A	0,45 b B C	0,47 a b B	0,54 a C
	MAP	0,34 a A	0,38 a C D	0,26 b C	0,34 a b D
	SPS	0,34 b A	0,56 a A	0,61 a A	0,63 a B
	SPT	0,35 d A	0,49 c A B	0,57 b A	0,74 a A
	TF	0,35 a A	0,37 a D	0,34 a C	0,37 a D
C.V. % = 9,58		D.M.S.: fontes = 0,0422, doses = 0,0355			
Mg	FN	0,16 a b A	0,19 a B	0,17 a b B C	0,15 b C
	MAP	0,16 a A	0,12 b C	0,14 a b D	0,16 a C
	SPS	0,16 a b A	0,12 c C	0,14 b c C D	0,18 a C
	SPT	0,16 c A	0,22 b B	0,20 b B	0,28 a B
	TF	0,16 c A	0,40 a A	0,36 b A	0,38 a b A
C.V. % = 9,17		D.M.S.: fontes = 0,0183, doses = 0,0367			
S	FN	0,13 a A	0,07 b B	0,06 b D	0,07 b D
	MAP	0,13 a b A	0,08 c B	0,10 b c B C	0,15 a C
	SPS	0,13 d A	0,19 c A	0,25 b A	0,29 a A
	SPT	0,15 b A	0,09 c B	0,11 c B	0,20 a B
	TF	0,13 a A	0,08 b B	0,07 b C D	0,08 b D
C.V. % = 15,27		D.M.S.: fontes = 0,0198, doses = 0,0167			

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na vertical ou letras minúsculas distintas na horizontal, diferem entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade..

Tabela 6. Quantidades de: N, K, Ca, Mg e S absorvidas pela parte aérea das plantas de arroz em função das doses, para cada fertilizante fosfatado aplicado ao solo. Médias de quatro repetições

Fontes		Doses - $\mu\text{P/g}$ de solo			
		0	100	200	300
		-----mg/vaso-----			
N	FN	18,84 b A	49,04 a A	49,70 a B	52,08 a B
	MAP	19,39 c A	57,34 b A	75,95 a A	80,98 a A
	SPS	19,99 c A	60,13 b A	77,50 b A	48,87 a B
	SPT	20,50 b A	55,71 a A	61,24 a B	59,68 a B
	TF	21,06 b A	53,06 a A	56,72 a B	54,14 a B
C.V. % = 13,79		D.M.S.: fontes = 6,8035, doses = 5,7183			
K	FN	18,78 a A	31,17 a A	31,22 a A	33,79 a A
	MAP	18,16 a A	31,24 a A	33,60 a A	34,58 a A
	SPS	19,88 a A	32,42 a A	32,00 a A	34,20 a A
	SPT	20,43 a A	32,21 a A	33,46 a A	37,31 a A
	TF	20,98 a A	31,09 a A	30,71 a A	34,44 a A
C.V. % = 10,05		D.M.S.: fontes = 2,9581, doses = 2,4862			
Ca	FN	3,15 c A	12,97 b B	14,07 b B	18,89 a A B
	MAP	3,25 c A	14,61 a B	11,03 b C	10,32 b C
	SPS	3,35 c A	19,06 b A	22,21 c A	18,48 b B
	SPT	3,46 c A	17,68 b A	20,00 a b A	21,30 a A
	TF	3,57 b A	12,70 a B	11,81 a C	12,25 a C
C.V. % = 10,25		D.M.S.: fontes = 1,2960, doses = 1,0892			
Mg	FN	1,44 b A	5,38 a C	5,22 a C	5,28 a C
	MAP	1,49 c A	4,55 b C	5,76 a BC	4,74 a b C
	SPS	1,54 b A	4,25 a C	5,10 a C	5,28 a C
	SPT	1,60 b A	7,92 a B	6,87 a B	8,07 a B
	TF	1,65 c A	14,02 a A	12,41 b A	12,69 b A
C.V. % = 11,16		D.M.S.: fontes = 0,6399, doses = 0,5379			
S	FN	1,20 b A	2,06 a b C	1,83 a b C	2,55 a C
	MAP	1,23 c A	3,28 b B	4,52 a B	4,63 a B
	SPS	1,27 c A	6,65 b A	9,22 a A	8,57 a A
	SPT	1,30 c A	3,32 b B	3,92 b B	5,76 a B
	TF	1,33 b A	2,91 a B C	2,36 a b C	2,78 a C
C.V. % = 16,98		D.M.S.: fontes = 0,5977, doses = 0,5023			

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na vertical ou letras minúsculas distintas na horizontal, diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

adubos, já na dose 200, começou a aparecer o efeito do MAP que tem N na sua composição (tabela 2), mas as diferenças em relação ao SPT ainda não foram significativas. Na dose 300, o MAP alcançou o máximo de N absorvido e esta diferença deve-se ao fato de ter sido aplicada uma única dose de N na forma de nitrato de amônio para todos os tratamentos. Quanto ao K não se observou diferença significativa em nenhuma das doses para todos os adubos aplicados, devido aos adubos não passarem na sua composição este nutriente e ter sido aplicada uma única dose de K na forma de KCl para todos os tratamentos.

O comportamento do Ca, Mg e S foram semelhantes ao do N, sendo as diferenças devidas ao fato dos adubos conterem esses nutrientes na sua composição, apresentando maior absorção do nutriente nos adubos que os contêm.

As Tabelas 7 e 8 apresentam os resultados da análise de variância da produção de material seco, da porcentagem de P, N, K, Ca, Mg e S no material seco, e das quantidades desses nutrientes absorvidos pela parte aérea das plantas de arroz, em função dos tratamentos (fontes e doses). Pode-se observar, que o teste F foi altamente significativo para todas os parâmetros, mostrando efeitos significativos dos tratamentos. Observa-se também, baixos coeficientes de variação, evidenciando que os dados obtidos não tiveram grandes diferenças dentro das repetições.

4.3. Fósforo recuperado pelos extratores Mehlich-1, Olsen e Resina

Os teores de fósforo obtidos com os extratores, para cada dose do nutriente adicionada ao solo, apresentaram comportamento bastante diferenciado

Tabela 7. Análise de variância da produção de material seco (MS) da parte aérea das plantas de arroz e porcentagem de P, N, K, Ca, Mg e S na MS, em função das doses de adubos fosfatados aplicados ao solo

	Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F
M.S.	Fonte	4	1,5939420	0,3984855	11,446**
g/vaso	Dose	3	88,2760359	29,4253453	845,276**
	Fonte x Dose	12	4,4312019	0,3692668	10,608**
	Residuo	60	2,0886912	0,0348115	
	Total	79	96,3898709		
Média geral = 2,768000			Coeficiente de variação = 6,741 %		
P	Fonte	4	1,7718696	0,4429674	122,451**
%	Dose	3	9,2641993	3,0880664	853,644**
	Fonte x Dose	12	2,6499202	0,2208267	61,044**
	Residuo	60	0,2170507	0,0036175	
	Total	79	13,9030397		
Média geral = 0,589000			Coeficiente de variação = 10,212 %		
N	Fonte	4	0,8923693	0,2230923	6,3362**
%	Dose	3	2,0300132	0,6766711	19,2970**
	Fonte x Dose	12	3,2947100	0,2745592	7,8298**
	Residuo	60	2,1039660	0,0350661	
	Total	79	8,3210585		
Média geral = 1,842125			Coeficiente de variação = 10,165 %		
K	Fonte	4	0,1826299	0,0456575	5,2310**
%	Dose	3	16,5655846	5,5218615	632,6080**
	Fonte x Dose	12	0,4151401	0,0345950	3,9630**
	Residuo	60	0,5237239	0,0087287	
	Total	79	17,6870785		
Média geral = 1,249125			Coeficiente de variação = 7,479 %		
Ca	Fonte	4	0,5979948	0,1494987	82,9779**
%	Dose	3	0,3287049	0,1095683	60,8149**
	Fonte x Dose	12	0,3162751	0,0263563	14,6288**
	Residuo	60	0,1081002	0,0018017	
	Total	79	1,3510749		
Média geral = 0,443250			Coeficiente de variação = 9,756 %		
Mg	Fonte	4	0,3706950	0,0926737	272,5680**
%	Dose	3	0,0541000	0,0180333	53,0390**
	Fonte x Dose	12	0,1412450	0,0117704	34,6187**
	Residuo	60	0,0204001	0,0003400	
	Total	79	0,5864400		
Média geral = 0,201000			Coeficiente de variação = 9,174 %		
S	Fonte	4	0,1829779	0,0457445	114,9390**
%	Dose	3	0,0313764	0,0104588	26,2792**
	Fonte x Dose	12	0,0842094	0,0070174	17,6323**
	Residuo	60	0,0238793	0,0003980	
	Total	79	0,3224430		
Média geral = 0,130612			Coeficiente de variação = 15,274 %		

Tabela 8. Análise de variância das quantidades de P, N, K, Ca, Mg e S absorvidos pela parte aérea das plantas de arroz, em função das doses, para cada fertilizante fosfatado aplicado ao solo

Causas da variação		G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F
P mg	Fonte	4	1920,55598	480,13899	90,2002**
	Dose	3	11001,87833	3667,29278	688,9474**
	Fonte x Dose	12	2241,27115	186,77259	
	Residuo	60	319,38225	5,32304	35,0876**
	Total	79	154,86746		
Média geral = 18,792250		Coeficiente de variação = 12,277 %			
N mg	Fonte	4	2316,8222191	579,2055548	12,3882**
	Dose	3	24268,1377572	8089,3792540	173,018**
	Fonte x Dose	12	2970,6164167	247,5513681	5,2947**
	Residuo	60	2805,2707577	46,7545126	
	Total	79	32360,8471508		
Média geral = 49,596401		Coeficiente de variação = 13,787 %			
K mg	Fonte	4	38,9461789	9,7365447	1,1016**
	Dose	3	2753,3631631	917,7877210	103,849**
	Fonte x Dose	12	47,4134034	3,9511169	0,4470**
	Residuo	60	530,3044162	8,8384069	
	Total	79	3370,0271616		
Média geral = 29,585163		Coeficiente de variação = 10,049 %			
Ca mg	Fonte	4	534,0923407	133,5230852	78,7066**
	Dose	3	2338,9097129	779,6365710	459,565**
	Fonte x Dose	12	352,3203223	29,3600269	17,3066**
	Residuo	60	101,7879074	1,6964651	
	Total	79	3327,1102833		
Média geral = 12,709038		Coeficiente de variação = 10,248 %			
Mg mg	Fonte	4	438,1744691	109,5436173	264,803**
	Dose	3	474,6753147	158,2251049	382,482**
	Fonte x Dose	12	153,4875076	12,7906256	30,9192**
	Residuo	60	24,8207707	0,4136795	
	Total	79	1091,1580621		
Média geral = 5,763913		Coeficiente de variação = 11,159 %			
S mg	Fonte	4	198,7307343	49,6826386	137,692**
	Dose	3	152,3468799	50,7822933	140,739**
	Fonte x Dose	12	84,4613919	7,0384493	19,5066**
	Residuo	60	21,6494761	0,3608216	
	Total	79	457,1884822		
Média geral = 3,536400		Coeficiente de variação = 16,986 %			

em função dos tratamentos e do extrator utilizado. A capacidade de extração de P em geral foi decrescente na seguinte ordem: Mehlich-1, resina e Olsen (tabela 9).

O extrator Mehlich-1 recuperou mais fósforo do solo que o da Resina e Olsen, para todas as fontes e doses de fósforo aplicadas, com exceção da dose 300 ugP/g de TER na qual a resina recuperou um pouco mais de fósforo que o Mehlich-1. A maior recuperação do método da resina nessa dose e para essa fonte, deve-se provavelmente, ao fato de o fosfato quando aplicado ao solo ter promovido maior formação de fosfatos ligados a Ca (P-Ca), pois os ions fosfatos formados são mais rapidamente transformados em P-Ca e P-Fe do que em P-Al. A tendência do extrator Mehlich de recuperação de fósforo, atribui-se ao fato que esse extrator atua mais intensamente sobre as formas de P-Al, devido à sua maior acidez (THOMAS & PEASLEE, 1973). Segundo COPE & EVANS (1985), o extrator Mehlich-1 é um bom extrator para solos ácidos altamente intemperizados e com baixa CTC.

Os resultados da análise do fósforo recuperado do solo pelos três métodos de extração, após a colheita da parte aérea das plantas de arroz, em função das doses e fontes de adubos fosfatados aplicados, estão apresentados na Tabela 10. De uma forma geral, o extrator Mehlich-1 extraiu mais P que a Resina e o Olsen.

O extrator Mehlich-1 na dose 100 extraiu mais P no tratamento onde foi aplicado FN e foi estatisticamente semelhante ao TER, seguidos pelo SPS, SPT e MAP, para os quais o extrator não apresentou diferenças na extração de P. Na dose 200, o extrator Mehlich-1 extraiu mais P para FN, que foi semelhante ao TER, e este ao SPS e MAP, sendo as menores extrações para SPT que foi estatisticamente semelhante ao MAP. Na dose 300 o extrator Mehlich-1

Tabela 9 Fósforo recuperado do solo pelos três métodos de extração, 92 dias após a aplicação dos adubos fosfatados e produção de material seco da parte aérea das plantas de arroz. Médias de quatro repetições

Fontes	Doses	Métodos de extração de P			Mat. seca
	µgP/g solo	Mehlich	Olsen	Resina	g/vaso
		-----µgP/cm ³ -----			
FN	100	71 c	10 b	24 c	2,87 b
	200	144 b	16 a	43 b	2,98 b
	300	214 a	20 a	58 a	3,46 a
MAP	100	35 c	37 c	30 c	3,79 b
	200	110 b	66 b	68 b	4,19 a
	300	156 a	85 a	112 a	3,05 c
SPS	100	41 c	32 c	32 c	3,40 a
	200	114 b	52 b	66 b	3,65 a
	300	167 a	59 a	105 a	2,95 b
SPT	100	49 c	35 c	36 c	3,60 a
	200	88 b	61 b	72 b	3,47 a
	300	162 a	84 a	115 a	2,89 b
TF	100	87 c	19 c	35 c	3,46 a
	200	122 b	34 b	121 b	3,41 a
	300	170 a	54 a	198 a	3,33 a
Test.	0	2 d	1,6 d	3,6 d	0,92 c

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 10. Teor de fósforo recuperado do solo pelos extratores, em função das doses para cada fonte de adubo fosfatado aplicado ao solo, após a colheita das plantas de arroz. Médias de quatro repetições.

Métodos	Fontes	Doses - $\mu\text{P/g}$ de solo			
		0	100	200	300
----- $\mu\text{gP/cm}^3$ -----					
Mehlich	FN	2,025 d A	71,40 c A	144,25 b A	213,60 a A
	MAP	1,978 d A	35,00 c B	109,90 b B C	155,82 a B
	SPS	2,027 d A	40,60 c B	114,10 b B	167,37 a B
	SPT	2,028 d A	49,00 c B	88,20 b C	161,77 a B
	TER	2,029 d A	87,50 c A	122,15 b A B	169,85 a B
C.V. % = 12,81		D.M.S.: fontes = 11,0967, doses = 9,3266			
Olsen	FN	1,650 c A	9,87 b C	15,72 a D	20,37 a D
	MAP	1,653 d A	36,62 c A	65,75 b A	84,57 a A
	SPS	1,656 d A	31,70 c A	52,42 b B	59,40 a B
	SPT	1,659 d A	32,25 c A	60,77 b A	83,57 a A
	TER	1,663 d A	19,00 c B	34,54 b C	53,60 a C
C.V. % = 7,97		D.M.S.: fontes = 2,6618, doses = 2,2372			
Resina	FN	3,587 d A	23,89 c A	42,70 b C	58,04 a C
	MAP	3,585 d A	29,75 c A	68,07 b B	112,44 a B
	SPS	3,588 d A	32,46 c A	66,41 b B	105,09 a B
	SPT	3,589 d A	36,22 c A	71,83 b B	115,94 a B
	TER	3,586 d A	34,96 c A	129,69 b A	197,75 a A
C.V. % = 12,75		D.M.S.: fontes = 7,1953, doses = 6,0475			

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na vertical ou letras minúsculas distintas na horizontal, diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

extraiu mais P para FN. seguido dos adubos TER, SPS, SPT e MAP que foram estatisticamente semelhantes.

O extrator Olsen na dose 100, extraiu mais P no tratamento com MAP, que foi estatisticamente semelhante ao SPT e ao SPS, seguido do TER e menos para FN. Na dose 200 extraiu mais P para o MAP, que foi semelhante ao SPT, seguidos dos adubos SPS, TER e FN, para os quais o P extraído com este extrator não apresentou diferença significativa, na dose 300 o comportamento deste extrator foi semelhante ao da dose 200.

O extrator resina, para a dose 100 não apresentou diferenças na extração de P para as cinco fontes de adubos fosfatados. Na dose 200 extraiu mais P para o TER, seguido de SPT, MAP, e SPS, em que o P extraído não apresentou diferenças significativas já para o FN nessa dose a resina extraiu menos P. Na dose 300 o comportamento desse extrator foi semelhante ao da dose 200.

A Tabela 11 apresenta o resultado das análises de variância do fósforo extraído pelos três extratores em função das doses de P, dentro de cada fonte de adubo fosfatado aplicado ao solo, mostrando efeitos altamente significativos para a extração de P pelos extratores, para as doses, fontes e a interação fontes x doses.

As figuras 4, 5, 6, 7 e 8 relacionam o fósforo adicionado ao solo na forma dos diferentes adubos fosfatados, com o P extraído pelos extratores. Quando se adicionou FN, os três extratores tiveram efeitos lineares altamente significativos na extração de P. Quando se adicionou MAP o extrator Mehlich-1 teve efeito linear altamente significativo e os extratores Olsen e Resina apresentaram efeitos quadráticos altamente significativos. Quando se adicionou

SPS os extratores Mehlich-1 e Resina apresentaram efeito linear altamente significativo e o extrator Olsen efeito quadrático altamente significativo. Finalmente, quando se adicionou SPT e TER o efeito dos extratores foi semelhante.

As figuras 9, 10 e 11 correlacionam o fósforo extraído pelos extratores entre si, e os coeficientes revelam boa significância, mostrando que houve certa semelhança na extração de P, sendo a melhor correlação estabelecida entre os extratores Mehlich-1 e Resina ($r^2=0,81$).

4.4. Resposta do arroz ao fósforo recuperado pelos extratores

Na Tabela 9 relacionou-se o P disponível, extraído pelos três métodos com a produção de material seco da parte aérea das plantas de arroz e o comportamento para cada fonte de adubo fosfatado foi o seguinte:

Fosfato natural Alvorada (FN): para essa fonte de fósforo, a extração de fósforo foi elevada pelo método de Mehlich, enquanto os métodos Resina e Olsen extraíram-no em quantidades menores. Houve acréscimo na produção de material seco até os valores máximos extraídos pelos três métodos. Estes resultados são um tanto diferentes dos obtidos por SFREDO et al. (1979), pois segundo esses pesquisadores o extrator Olsen extraiu mais fósforo que o Mehlich-1, seguramente porque nesse trabalho, as condições foram diferentes das aqui apresentadas.

Monofosfato de amônio (MAP): para essa fonte o comportamento dos extratores foi semelhante ao do FN na produção de material seco, mas acima

de 200 ugP/g aplicado ao solo, passa a provocar um efeito negativo na produção de material seco.

Superfosfato simples (SPS), Superfosfato triplo (SPT) e termofosfato (TER): o comportamento dos extratores para essas fontes foi semelhante ao do MAP na produção de material seco, e da mesma forma, a dose 200 ugP/g aplicado ao solo, provocou decréscimo na produção de material seco.

As figuras 12, 13 e 14 apresentam as correlações que foram altamente significativas entre o extrator Mehlich-1 e a produção de material seco ($r^2=0,91$), porcentagem de P ($r^2=0,86$) e P absorvido pela parte aérea das plantas de arroz ($r^2=0,88$). As figuras 15, 16 e 17 apresentam as correlações altamente significativas entre o extrator Olsen e a produção de material seco ($r^2=0,94$), porcentagem de P ($r^2=0,91$) e P absorvido pela parte aérea das plantas de arroz ($r^2=0,93$). As figuras 18, 19 e 20 apresentam as correlações altamente significativas entre o extrator Resina e a produção de material seco ($r^2=0,87$), porcentagem de P ($r^2=0,91$) e P absorvido pela parte aérea das plantas de arroz ($r^2=0,93$). Observa-se que o método Olsen apresentou uma tendência de correlação melhor que os métodos Mehlich-1 e Resina, porém sua capacidade de extração de P do solo é mais baixa, como já foi discutido. Resultados semelhantes foram encontrados por KOCHHANN et al. (1982), porém a Resina também apresentou boa correlação com a resposta do arroz ao fósforo aplicado, resultado que concorda com RAIJ et al. (1984)

Tabela 11. Análise de variância do fósforo extraído pelos três métodos de extração em função das doses para cada fonte de adubo fosfatado aplicado ao solo.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F
Mehlich				
Fonte	4	12890,4666	3222,6166	25,9102**
Dose	3	329584,9580	109861,6527	883,2997**
Fonte x Dose	12	9956,8669	829,7389	6,6712**
Residuo	60	7462,5848	124,3764	
Total	79	359894,8762		
Media geral = 87,0306		Coeficiente de variação = 12,81%		
Olsen				
Fonte	4	13451,0721	3362,7680	469,8920**
Dose	3	38718,1139	12906,0379	1803,4086**
Fonte x Dose	12	6608,2709	550,6892	76,9499**
Residuo	60	429,3881	7,1565	
Total	79	59206,8451		
Media geral = 33,5829		Coeficiente de variação = 7,97%		
Resina				
Fonte	4	27207,4631	6801,8658	130,0713**
Dose	3	149893,5626	49964,5208	955,4658**
Fonte x Dose	12	26834,0255	2236,1688	42,7620**
Residuo	60	3137,6018	52,2934	
Total	79	207072,6529		
Media geral = 56,7095		Coeficiente de variação = 12,75%

Figura 4. Correlações estabelecidas entre as doses de fósforo adicionado ao solo na forma de fosfato natural-Alvorada (FN) e o fósforo recuperado pelos extratores Mehlich-1, Olsen e Resina

Figura 5. Correlações estabelecidas entre o fósforo adicionado ao solo na forma de monofosfato de amônio (MAP) e o fósforo recuperado pelos extratores Mehlich-1, Olsen e Resina

Figura 6. Correlações estabelecidas entre o fósforo adicionado ao solo na forma de superfosfato simples (SPS) e o fósforo recuperado pelos extratores Mehlich-1, Olsen e Resina

Figura 7. Correlações estabelecidas entre o fósforo adicionado ao solo na forma de superfosfato triplo (SPT) e o fósforo recuperado pelos extratores Mehlich-1, Olsen e Resina

Figura 8. Correlações estabelecidas entre o fósforo adicionado ao solo em três doses de P na forma de termofosfato-Yoorin (TER) e o fósforo recuperado pelos extratores Mehlich-1, Olsen e Resina

Figura 9. Correlação estabelecida entre o fósforo recuperado do solo pelos extratores Mehlich-1 e Olsen

Figura 11. Correlação estabelecida entre o fósforo recuperado do solo pelos extratores Mehlich-1 e Resina

Figura 12. Correlação estabelecida entre o fósforo recuperado do solo pelo extrator Mehlich-1 e produção de material seco da parte aérea das plantas de arroz

Figura 13. Correlação estabelecida entre o fósforo recuperado do solo pelo extrator Mehlich-1 e o porcentagem de P na parte aérea das plantas de arroz

Figura 14. Correlação estabelecida entre o fósforo extraído do solo pelo extrator Mehlich-1 e o P absorvido pela parte aérea das plantas de arroz

Figura 15. Correlação estabelecidaa entre o fósforo recuperado do solo pelo extrator Olsen e a produção de material seco pela parte aérea das plantas de arroz

Figura 16. Correlação estabelecida entre o fósforo recuperado do solo pelo extrator Olsen e o porcentagem de P no material seco

Figura 17. Correlação estabelecida entre o fósforo recuperado do solo pelo extrator Olsen e o P absorvido pela parte aérea das plantas de arroz

Figura 18. Correlação estabelecida entre o fósforo recuperado do solo pelo extrator Resina e a produção de material seco pela parte aérea das plantas de arroz

Figura 19. Correlação estabelecida entre o fósforo recuperado do solo pelo extrator Resina e o porcentagem de fósforo no material seco

Figura 20. Correlação estabelecida entre o fósforo recuperado do solo pelo extrator Resina e o fósforo absorvido pela parte aérea das plantas de arroz

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado o experimento, os resultados obtidos permitem concluir que:

- As fontes de fósforo utilizadas comportaram-se de forma diferente em relação aos extratores do solo.

- Os adubos termofosfato, superfosfato simples e superfosfato triplo aumentaram o pH do solo.

- O extrator Mehlich-1 extraiu mais fósforo que o de Olsen e a Resina, porém a melhor correlação com a resposta do arroz às fontes e doses de fósforo, deu-se com o extrator Olsen

- A dose 200 $\mu\text{gP/g}$ de solo, foi suficiente para atingir a máxima resposta do arroz, em termos de material seco e P absorvido, para todas as fontes testadas

- Os adubos monofosfato de amônio e superfosfato simples na dose 200 $\mu\text{gP/g}$ de solo proporcionaram o maior peso de material seco da parte aérea nas plantas de arroz, os adubos superfosfato triplo e termofosfato o fizeram na dose 100 $\mu\text{gP/g}$ de solo. Para o fosfato natural, o incremento de produção de material seco foi crescente em função das doses aplicadas ao solo.

- Os teores de fósforo nas plantas de arroz foram mais elevados para os tratamentos que receberam monofosfato de amônio e superfosfato simples na dose 300 $\mu\text{gP/g}$ de solo.

- Os três extratores utilizados correlacionaram-se com a resposta do arroz às doses de fósforo para todas as fontes de adubos fosfatados

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, J.F. & ODOM, J.N. Effects of pH and phosphorus rates on soil-solution phosphorus and phosphorus availability. *Soil Science*, 140: 202-5, 1985.
- ALCARDE, J.C.; GUIDOLIN, J.A.; LOPES, A.S. Os adubos e a eficiência das adubações. São Paulo, ANDA, 1990. 35p.
- AZEVEDO FILHO, A.J.B.V.; FRANCO Jr., C.F.; MELLO F.A.F. de; ARZOLLA, S. Efeitos de três adubos fosfatados sobre a acidez de dois solos do município de Piracicaba. *Anais. ESALQ/USP, Piracicaba*, 45(2): 479 -98, 1988.
- BARBOSA FILHO, M.P.; KINJO, T.; MURAOKA, T. Relações entre fósforo extraído, frações inorgânicas de fósforo e crescimento do arroz em função de fontes de fósforo, calagem e tempo de incubação. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 11: 147-55, 1987.
- BRAGA, N.R.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A.; RAIJ, B. van FEITOSA, C.T.; HIROCE, R. Eficiência agronômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, 15:315-9, 1991.
- CABALA, R.P. & SANTANA, M.B.M. Influência do tempo de contato com o solo do valor fertilizante de fontes fosfatadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XIX, Curitiba, Resumos, 1983. 126p.

- CHIEN, S.H. Disoolution of phosphate rocks in a flooded acid soil. **Soil Science Society American Journal**, Madison, 41: 565-657, 1977.
- COELHO, F.S. & VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo**. 2.ed. Campinas, ICEA, 1973. 384p.
- COOKE, G.W. **The control of soil fertility**. London, Crosby Lockwood & Son. 1967. p.122-138.
- COPE, J.T. & EVANS, C.E. Soil testing. **Adv in Soil Science**, 1:201-288, 1985.
- COREY, R.B. Factors affecting the availability of nutrients to plants. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.A. **Soil testing and plant analysis**. 2a. ed. Madison, Soil Science Society of American, 1973. p.23-34.
- CORRÊA, L. de A. & HAAG, H.P. Disponibilidade de fósforo pelos extratores de Mehlich-1 e Resina em Latossolo Vermelho Amarelo, Álico cultivado com três gramíneas forrageiras. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, 50(2): 287-94, 1993.
- COSTA, A. Uso de fertilizantes na cultura do arroz. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Londrina - PR. **Uso de fertilizantes na agricultura paranaense**. Londrina. 1980. p.61-7 (circular 16).
- EKPETE, D.M. Evaluation of chemical methods for the determnation of available phosphorus in waterlogged soils. **Soil Science**. Baltimore, 121:217-21, 1976
- FAGERIA, N.K. **Adubação e nutrição da cultura do arroz irrigado**. Goiânia, Campus/ EMBRAPA, 1984. 341p.

- FEITOSA, C.T. Avaliação da disponibilidade do fósforo aplicado ao solo na forma de diferentes fosfatos. Piracicaba, ESALQ/USP. 1978. 81p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).
- FERNANDES, F.M.; FERREIRA, M.E.; MELHO, F.A.F. de. Fontes e doses de adubos fosfatados na cultura da soja em solo de cerrado. *Anais. ESALQ/USP, Piracicaba*, 41(2):655-74, 1984.
- FERNANDES, F.M.; FERREIRA, M.E.; MELHO, F.A.F. de. Comparação de extratores de fósforo do solo, considerando-se o tempo de incorporação de fontes de adubos fosfatados. *Anais. ESALQ/USP, Piracicaba*, 41(2):675-88. 1984(a).
- GARGANTINI, H. & C.T. FEITOSA. Comportamento de diferentes fertilizantes fosfatados, em diversas condições de acidez do solo em dois grupos de solo do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 16, Santa Maria, R.S., 1973. *Anais. Santa Maria, UFSM, Soc. Bras. Ciência do Solo*. 1974. p.256-262.
- GARGANTINI, H. & SANTOS, D. Competição de fertilizantes fosfatados em soja. *Bragantia. Campinas*, 30:117-24, 1971.
- GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solos de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, 15(3):311-18, 1980.
- GOEDERT, W.J.; J.F. PATELLA; J.F.V. MORAIS. Formas de fósforo num Planosolo do rio Grande do Sul e sua disponibilidade para a cultura do arroz irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Ser.Agron. 6:39-43. 1971.
- GOEDERT, W.J.; REIN, T.A. SOUSA, D.M.G. Eficiência agronômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solos de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, 25(4):521-30, 1990.

- GOEDERT, W.J. & SOUSA, D.M.G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 14. *Anais*. Brasília, EMBRAPA, 1984. p.255-89.
- GRANDE, M.A.; CURI, N.; QUAGGIO, J.A. Disponibilidade de fósforo pelos extratores de Mehlich e Resina, em solos cultivados com arroz irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, 3(2):100-5, 1986.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Tecnologia de produção de fertilizantes*, São Paulo, 1990. 237p.
- JORGE, J.A. & J. VALADARES. Formas de fósforo em solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, 28 (2):23-30. 1969.
- KAMPRATH, E.J. WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. *The role of phosphorus in agriculture*. Madison, American Society of agronomy, 1980. p.433-69.
- KOCHHANN, R.; ANGHINONI, I.; MIELNICZUK, J. Adubação fosfatada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J. *Adubação fosfatada no Brasil*. Brasília, EMBRAPA / DID, 1982. p.29-60.
- LEHR, J.R. & McLELLAN, G.H. A revised laboratory reactivity scale evaluating phosphate rocks for direct application. Muscle Shoals, Alabama, National Fertilizer Development Center. 1972. 36p. (Bulletin, y-43).
- LOPES, A.S. Manual de fertilidade do solo. São Paulo, ANDA/POTAFOS. 1989. 153P.

- LOURENÇO, S. Adsorção e dessorção do fósforo em solos do estado do Paraná. Piraciabá, 1971. 69p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).
- MACHADO, M.O. Caracterização e adubação do solo. In: EMBRAPA. **Fundamentos para a cultura do arroz irrigado.** Fundação Cargil. Campinas, 1985. p.129-179.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** Ed. Agronômica, CERES, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. **Adubos e adubação fosfatada.** São Paulo, Fertilizantes MITSUI, 1985. 61p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; ALCARDE, J.C.; ROSOLEM, C.A.; FORNASIERI F^o., D. Aproveitamento de um fosfato natural parcialmente solubilizado pelas culturas do arroz, milho e soja. **Anais, ESALQ/USP,** Piracicaba, **38 (2):** 801-18. 1981.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Principios e aplicações.** Piracicaba. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MANDAL, L.N. & DAS, R.K. Transformation of applied water soluble phosphate in acidic lowland rice soils. **Soil science.,** **111:** 263-7, 1970.
- MELLO, F.A.F.; ARUTR, V.; VICTORIA, R. Efeito de três adubos fosfatados sobre a acidez de um solo hidromórfico. **Revista de Agricultura,** **56 (4):** 301-11, 1981.
- MELLO, F.A.; BELLONI, E.; JANKOVSKI, F.; KOFFLER, N.; VALERIO, F.M. Efeito do tratamento de um latossolo com fosfato sobre a capacidade de fixação do mesmo. **Revista de agricultura,** Piracicaba, **55(3):** 127-31, 1980.

- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4. ed. Berna, International Potash Institute, 1987. 687p.
- MORAES, J.F.V. Efeitos da inundação do solo. II. Influência sobre a absorção de nutrientes e o crescimento do arroz (*Oriza sativa* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 8:103-8, 1973.
- MORAIS, O.P. & GONTIJO, V.de P.M. Resposta da cultura do arroz (*Oriza sativa* L.) de sequeiro a fertilização NPK e a calagem. **Projeto Arroz, Anual 75/76**. Belo Horizonte. 1978 p.93-146.
- MOREIRA, J.F. Cinética de transformação de P-lábil em não lábil, por análise química e crescimento de mudas de eucalipto. Viçosa, 1988. 52p. (Mestrado-Universidade Federal de Viçosa).
- NELSON, W.L.; MEHLICH, A.; WINTERS, E. The development, evaluation and use of soil tests phosphorus availability. In: PIERRE, W.H. & NORMAN, A.G. (ed.). **Soil and fertilizer phosphorus**. Agronomy. 4: 89-122, 1953.
- NEPTUNE, A.M.L. & PEREZ, A.J.L. Disponibilidade de fósforo e correlações entre formas e quantidades absorvidas pelo feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solos do Estado de São Paulo. **Anais. ESALQ/USP, Piracicaba**, 44 (1): 769-80. 1987
- NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M.; MARTINS Fº., C.A.S. Efeito do tempo de incubação de fosfato de Araxá em solos sobre o fósforo disponível. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. Campinas, 4: 153-5, 1989.
- NOVELINO, J.O.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; COSTA, L.M.; BARROS, N.F. Solubilização de fosfato-de-araxá, em diferentes tempos de incubação, com amostras de cinco latossolos, na presença e na ausência de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 9:13-22, 1985.

- OLIVEIRA, O.F. de; CAMARGO, C.E.O.; RAMOS, V.J. Efeito do fósforo sobre os componentes de produção, altura das plantas e rendimento de grãos, em trigo. **Bragantia**, Campinas, **43**(1): 31-44. 1984.
- OLSEN, S.R.; COLE, C.V.; WATANABE, F.S.; DEAN, L.A. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939:1-19, 1954.
- PATRICK Jr., W.H. & MAHAPATRA, I.C. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soil. **Advances of Agronomy**, Madison. **20**: 223-59, 1968
- PONNAMPERUMA, F.N. Dynamic aspects of flooded soils. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. (ed.) **The mineral nutrition of the rice plant**. Baltimore, Johns Hopkins Press, 1964. p.295-328.
- RAIJ, B. van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **2**(1): 1-9, 1978.
- RAIJ, B. van. Fertilizantes fosfatados e uso. **Informações agronômicas**. **26**, Piracicaba, Potafos, 1984.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo/ Agronômica Ceres, Piracicaba, Potafos, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van; C.T. FEITOSA; SILVA, N.M. da. Comparação de quatro extratores de fósforo de solos. **Bragantia**, Campinas, **43**: 17-29. 1984.
- RAIJ, B. van. & QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solos para fins de fertilidade**. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 31p. (IAC, Boletim Técnico, 81).

- RAIJ, B. van.; ROSAND, P.C.; LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil: apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S. GOEDERT, W.J. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília, EMBRAPA / DID, 1982. p.289-98.
- REZENDE, J.O. Capacidade de fixação do fósforo por solos dos estados da Bahia e Sergipe. Influência do pH e tempo de reação. Piracicaba, 1974. 81p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP)
- ROJAS, W.C. Selección de métodos para la evaluación de fósforo disponível en suelos arroceros. **Agricultura Técnica**. 36: 5-13, 1976.
- SALGADO, A.L. B de; A. AZZINI; C.T. FEITOSA; A. PETTINELLI; G. de. Efeito de fertilizantes fosfatados na cultura da crotalaria. **Bragantia**, Campinas, 43(1):1-8. 1984.
- SEATZ, L.; STAMBERRY F.; CANNEY, O. Advances in phosphate fertilization. In: McVICKAR, M.H.; BRIDGER NELSON, L.B. **Fertilizer technology and usage**. Madison, Soil Science Society of América, 1963. p.155-80.
- SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; CORDEIRO,D.S.; PALHANO, J.B.; DITTRICH, R.C. Comparação de cinco extratores de fósforo do solo, considerando-se o tempo de incorporação de três adubos fosfatados. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 3: 111-5, 1979.
- SOUZA, M.A. de; MORAIS, O.P. de; TAKAHASHI, C. Adubação N P K na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.), **Proj. Trigo Rel. Anual 75/76**, Belo Horizonte. 1978. p.51-6.
- SYERS, J.K. & MACKAY, A.D. Reactions of Sechura phosphate rock and single superphosphate in soil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, 50(2):480-5, 1986.

THOMAS, G.W. & PEASLEE, D.E. Testing soils for phosphorus. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D., ed. **Soil testing and plant analysis**. Madison, Soil Science Society of América, 1973. p.115-29.

VIEGAS, G.P.; FREIRE, E.S.; CONAGIN, A. NAGIN, A. Adubação de milho. XVIII. Ensaio de diversos fosfatos (4a serie). **Bragantia**. Campinas, 20(1);1-13, 1961.

VOLKWEIS, S.J. & RAIJ, B. van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., Brasília, 1976. **Anais**. São Paulo, EDUSP, 1977.