

INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO PARCELADA DO Ca(OH)_2 E
DO FÓSFORO NA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DO
SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) E NAS PRINCIPAIS
FORMAS DE FÓSFORO DO SOLO

OSCAR OSWALDO LOLI FIGUEROA

Orientador: Prof. Dr. ANDRÉ MARTIN LOUIS NEPTUNE

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Outubro - 1984

A *Lorenzo e Teodosia*, meus pais,
e *Alfonso, Marco e Domingo*, meus irmãos,

DEDICO.

A *Betty*, minha esposa
e a *Oscar e Betty*, meus filhos,

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. André Martin Louis Neptune, pela orientação e amizade, que em todo momento do curso soube me proporcionar.

Ao Prof. Dr. Toshiaki Kinjo, pela sua colaboração durante o desenvolvimento do presente trabalho.

Ao Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira, pela colaboração prestada.

Ao Prof. Dr. Henrique Paulo Haag, pela colaboração durante o decorrer do curso.

Ao pessoal dos Laboratórios de Análises de Solos e fertilizantes da ESALQ.

À Sr.^a Tekla E. Klar pelo serviço de datilografia.

Aos colegas Morel, Aldi, Carlos e Lourival, pela amizade, incentivo e colaboração.

À Agência para o Desenvolvimento Internacional (AID) pelo financiamento do curso.

À Universidad Nacional Agrária de la Selva Tingo Maria, Perú, pela oportunidade concedida.

Í N D I C E

	Página
RESUMO	
INTRODUÇÃO	
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Generalidades	5
2.2. Formas de fósforo no solo	6
2.2.1. Fósforo em solução	6
2.2.2. Fósforo sorvido	6
2.2.2.1. Adsorção do fósforo	7
2.2.2.1.1. Minerais de argila.....	8
2.2.2.1.2. Compostos de ferro e alumínio	9
2.2.2.1.3. Matéria orgânica	11
2.2.3. Fósforo absorvido.....	11
2.2.3.1. Difusão	12
2.2.3.2. Fluxo de massa	12
2.2.4. Minerais primários	13
2.2.5. Fósforo orgânico	13
2.3. Fatores que afetam a sorção de fósforo	14
2.3.1. Temperatura	14
2.3.2. Umidade	15
2.3.3. Características do solo	16

2.3.3.1. Reação do solo ou pH	16
2.3.3.2. Concentração de argila	17
2.3.3.3. Mineralogia do solo	18
2.3.3.3.1. Minerais primários	18
2.3.3.3.2. Minerais secundários.....	19
2.3.3.4. Presença de íons	20
2.3.3.4.1. Cátions presentes no solo.....	21
2.3.3.4.2. Presença de ânions no solo.....	21
2.3.3.5. Concentração de matéria orgânica...	22
2.3.3.6. Textura do solo	23
2.4. Disponibilidade de fósforo	23
2.4.1. Fator Intensidade	23
2.4.2. Fator Capacidade	24
2.5. Distribuição dos compostos fosfatados no solo	24
2.6. O fósforo nos solos brasileiros	27
2.7. Corretivos para os solos ácidos	28
2.7.1. Cálcico-magnésicos	29
2.7.1.1. Quantidade a empregar	29
2.7.1.2. Tipo de material a empregar	30
2.7.1.3. Característica do material.....	30
2.7.2. Fosfatagem	30
2.7.3. Silicagem ou corretivos silícicos ...	31

	Página
3. MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1. Localização do campo experimental	32
3.2. Características do experimento	32
3.2.1. Solo	32
3.2.2. Temperatura	33
3.2.3. Irrigação	33
3.2.4. Fornecimento de nutrientes	33
3.2.4.1. Fontes	33
3.2.4.2. Características do superfosfato triplo	35
3.3. Componentes do estudo	36
3.3.1. Época de calagem	36
3.3.2. Modo de aplicação do superfosfato triplo	36
3.3.3. Doses de superfosfato triplo.....	36
3.4. Tratamentos de estudo	37
3.5. Procedimento	38
3.6. Análise da parte aérea	39
3.7. Análise dos solos	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1. Análise de solos	41
4.2. Produção de matéria seca do sorgo	43
4.2.1. Forma de aplicação do fertilizante fosfa tado	43
4.2.2. Calagem	47

4.2.3. Influência da segunda aplicação do fertilizante fosfatado nos diferentes parâmetros da calagem	48
4.3. Concentrações de fósforo ligado ao cálcio, ferro e alumínio, após a segunda colheita do sorgo	50
4.3.1. Influência da calagem	52
4.3.2. Influência das doses de fósforo	53
4.3.3. Influência do modo de aplicação do fertilizante fosfatado	54
4.4. Concentrações de fósforo solúvel em ácido sulfúrico ao 0,05N	55
4.4.1. Efeito do modo de aplicação do fertilizante fosfatado	55
4.4.2. Efeito das doses de fósforo aplicadas	56
4.4.3. Efeito da calagem	57
5. CONCLUSÕES	58
6. LITERATURA CITADA	60

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Relação de temperaturas máximas e mínimas observadas durante a realização do experimento (média semanal)	34
Tabela 2 - Diâmetros dos grânulos de superfosfato triplo (g/50 g do fertilizante).....	35
Tabela 3 - Tratamento de estudo	37
Tabela 4 - Resultados das análises de solos.....	41
Tabela 5 - Influência do modo de aplicação e das doses do fertilizante fosfatado, na produção de matéria seca de sorgo (g/vaso).....	43
Tabela 6 - Absorção total de cálcio, magnésio e fósforo pelo sorgo, nos diferentes modos de aplicação e doses do fertilizante fosfatado (mg/vaso)	45
Tabela 7 - Efeito do modo de aplicação do fertilizante fosfatado e da calagem na produção de matéria seca do sorgo (g/vaso)	45
Tabela 8 - Absorção total de cálcio e magnésio pelo sorgo, influenciado pela calagem e modo de aplicação do fósforo (mg/vaso)	46
Tabela 9 - Influência da calagem e das doses de fósforo na produção de matéria seca (g/vaso).....	47

Tabela 18 - Influência da calagem e de sua época de aplicação na concentração de fósforo solúvel em ácido sulfúrico 0,05N 9e.mg PO_4^{3-} / 100 g)	57
--	----

Tabela 10 - Efeito da calagem na produção da matéria seca em duas culturas consecutivas de sorgo (g/vaso)	48
Tabela 11 - Porcentagem de aumento na produção de matéria seca aérea de sorgo, por efeito da segunda aplicação do fósforo (%).....	49
Tabela 12 - Concentrações máximas e mínimas de fósforo ligado ao ferro, cálcio e alumínio (e.mg PO_4^{3-} /100 g)	51
Tabela 13 - Efeito da calagem e de sua época de aplicação na concentração do fósforo ligado ao cálcio, ferro e alumínio	52
Tabela 14 - Concentrações do fósforo ligado ao ferro, cálcio e alumínio, nas diferentes doses de fósforo (e.mg PO_4^{3-} /100 g).....	53
Tabela 15 - Influência do modo de aplicação do fósforo, na concentração do fósforo ligado ao cálcio, ferro e alumínio (e.mg PO_4^{3-} /100 g/)	55
Tabela 16 - Influência do modo de aplicação do fósforo na concentração do fósforo solúvel em ácido sulfúrico 0,05N (e.mg PO_4^{3-} /100 g).	55
Tabela 17 - Influência das doses de fósforo na concentração do fósforo solúvel em ácido sulfúrico 0,05N (e.mg PO_4^{3-} /100 g).....	56

INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO PARCELADA DO Ca(OH)_2 E DO FÓSFORO NA
PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DO SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench)
E NAS PRINCIPAIS FORMAS DE FÓSFORO DO SOLO

Oscar Oswaldo Loli Figueroa

Orientador: Prof. Dr. André Martin Louis Neptune

RESUMO

Empregando-se o sorgo como planta teste e um solo Podzólico Vermelho-Amarelo da zona de Capão Bonito, São Paulo, foi instalado o presente trabalho experimental, tendo como hipótese principal o seguinte: "A aplicação parcelada do fertilizante fosfatado, permite uma maior eficiência no aproveitamento do nutriente pela planta".

O trabalho foi conduzido em vasos com capacidade para três quilos de TFSA, que foram instalados na casa de vegetação do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, desde setembro de 1983 até fevereiro de 1984, período em que predominaram altas temperaturas.

Parâmetros como épocas de calagem, doses de fósforo, assim como, modo de aplicação do fertilizante fosfatado, foram testados, permitindo o estabelecimento de 18 tra-

tamentos, na segunda cultura do sorgo, após a qual, a matéria seca foi colhida e analisada; amostras de solo foram retiradas para as determinações do fósforo ligado ao cálcio, ferro e ao alumínio. Os dados assim obtidos foram analisados estatisticamente no Centro de Computação do CENA.

De acordo com as condições nas quais executou-se o experimento e com os resultados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões:

- a. Há um melhor aproveitamento do fertilizante fosfatado, pela segunda cultura do sorgo, quando este foi aplicado parceladamente.
- b. A calagem permite um melhor desenvolvimento da planta, mas este desenvolvimento é bem melhor quando o fertilizante fosfatado é fornecido.
- c. Não existe uma liberação do fósforo ligado ao ferro com a aplicação da calagem.
- d. O fosfato de cálcio sofre um acréscimo na sua concentração devido à calagem, o que é acentuado com as doses de fósforo.
- e. A concentração do fósforo ligado ao cálcio e ao alumínio encontra-se inversamente relacionado com o fósforo ligado ao ferro e com a produção de matéria seca na segunda cultura do sorgo.

- f. Existe uma maior eficiência da calagem na produção de matéria seca, quando ela for feita em forma prévia à semeadura.

INFLUENCE OF SPLIT APPLICATION OF $\text{Ca}(\text{OH})_2$ AND PHOSPHORUS IN
THE DRY MATTER YIELD OF SORGHUM (*Sorghum bicolor* L. Moench)
AND THE MAIN FORMS OF SOIL PHOSPHORUS

Oscar Oswaldo Loli Figueroa

Adviser: Prof. Dr. André Martin Louis Neptune

SUMMARY

A pot experiment was conducted in a greenhouse using soil taken from a Red-Yellow Podzolic and sorghum as the test plant. The main objective of the experiment was to verify the following hypothesis: split application of phosphate fertilizer results in higher efficiency in the uptake of this nutrient by the plant.

The experiment was run from September of 1983 till February 1984, a period in which high temperature prevails. The variables considered in this study were: date of liming, rates and forms of phosphate application. Various levels of these factors were combined making up a total of 18 treatments for the second sorghum crop. The data collected were as follows: dry matter weight, contents of calcium iron and aluminum phosphates of soil samples taken from each treatment. These data were statistically analysed at the CENA Computer Center.

The following conclusions were drawn based on the experimental conditions and on the results obtained

- a) split application of phosphate led to a better use of phosphate fertilizer by the second sorghum crop.
- b) Liming contributes to a better development of the plant which is enhanced by the application of phosphate fertilizer.
- c) Liming does not affect the availability of iron phosphorus
- d) There is an increase in the concentration of calcium phosphate due to liming and that increases with the rate of phosphorus application.
- e) The concentration of calcium linked to phosphates relates inversely to aluminum phosphate and to the yield of dry matter in the second sorghum crop.
- f) A higher efficiency results from liming when the application is done prior to sowing.

1. INTRODUÇÃO

Existe um grande potencial agrícola nas regiões tropicais e subtropicais, que com o tempo tendem a ser o celeiro do mundo. É por isso que as Instituições de Pesquisa encontram-se trabalhando com a finalidade de uma exploração mais adequada e racional da região.

Existem Instituições Internacionais como a Missão de Carolina do Norte, através do Projeto de Solos Tropicais, o Centro Internacional de la Papa (CIP), o Centro Internacional de Agronomía Tropical (CIAT), além de outras e as respectivas Universidades e Instituições Nacionais a nível de cada país localizado dentro da área tropical, como o Instituto Nacional de Investigações Agropecuárias (INIPA), no Peru, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), no Brasil, que encontram-se trabalhando nestas áreas. O trabalho desenvolvido por essas Instituições e Universidades, isó

ladamente ou em conjunto, procuram uma adequada metodologia para a melhor exploração dos solos, tanto dos que vão a ser incorporados à agricultura, como os que já foram incorporados anteriormente, tratando à medida do possível a solução integral dos problemas encontrados (Annual Report 1973, 1974, 1975 e 1978).

As características predominantes nos solos existentes nas regiões tropicais, constituem uma das principais limitações da produção agrícola, as que são determinadas pelas condições ambientais existentes, já que elas vão permitir a predominância de solos muito intemperizados, como é o caso dos Oxisolos e dos Ultisolos, que representam, respectivamente, 23% e 20% dos solos desta região (SANCHEZ e SALINAS, 1981).

Essas características assim determinadas nos solos do trópico, vão influenciar acentuadamente na disponibilidade do fósforo, um dos nutrientes mais limitantes na produção agrícola dessas regiões; sabe-se que aproximadamente 90% dos solos apresentam deficiência deste nutriente e 64% problemas com a disponibilidade dos compostos fosfatados existentes no solo para a planta, devido à sua reduzida solubilidade (SANCHEZ e SALINAS, 1981).

Procurando solucionar a problemática do fósforo nos solos do trópico, as Instituições tratam de desenvolver sistemas integrais, que comprometem as diferentes áreas

da agronomia principalmente fitotecnia, manejo, conservação e adubação do solo e a sanidade vegetal.

Na área de solos, o uso de corretivos calcáreos é bastante empregado para a redução da toxicidade do alumínio, acréscimo no teor de cálcio e precipitação dos óxidos hidratados de ferro e alumínio, permitindo deste modo uma maior eficiência no uso dos adubos fosfatados pela planta, embora existam ainda problemas para seu ótimo emprego.

A formação de compostos fosfatados de limitada solubilidade, está relacionada com o tempo de exposição deles às características adversas do solo; por outro lado, devido ao fato de que a planta absorve pequenas, mas constantes quantidades de fósforo durante seu desenvolvimento (MALAVOLTA 1984, o fator tempo incrementa sua importância na disponibilidade do fósforo para a planta.

Observando essa problemática e tratando de encontrar uma possível solução, realizou-se o presente trabalho experimental, apresentando-se como hipótese fundamental que "a aplicação parcelada do fertilizante fosfatado permite uma maior eficiência no seu aproveitamento pela planta". Para isso, foi empregado o sorgo como planta teste e um solo ácido do Município de Capão Bonito, Estado de São Paulo, classificado como Podzólico Vermelho Amarelo, sendo o trabalho conduzido em casa de vegetação.

Os objetivos gerais que se pretende atingir no

presente trabalho são:

- a. Determinar o efeito da calagem e do momento de sua incorporação, na produção de matéria seca da parte aérea obtida na segunda cultura do sorgo.
- b. Determinar a influência da aplicação parcelada do fertilizante fosfatado, na produção de matéria seca obtida na segunda cultura do sorgo.
- c. Determinar o efeito dos parâmetros da calagem e das épocas de aplicação do fertilizante fosfatado, na concentração final dos fosfatos ligados ao ferro, cálcio e alumínio presentes no solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Generalidades

O fósforo é um macronutriente primário requerido para o desenvolvimento normal da planta, podendo-se fornecê-lo através da via foliar e/ou via radicular. O solo constitui a principal fonte de abastecimento deste elemento para a planta, mas as características nele existentes têm uma acentuada influência na reduzida capacidade de recuperação do fertilizante pela planta, o que é explicado pela grande reatividade do fósforo no solo é a limitada mobilidade do elemento no solo (CATANI *et alii*, 1957; CATANI e PELLEGRINO, 1957; MELLO *et alii*, 1980). Ao reagir o fósforo com os elementos e/ou compostos existentes no solo, dá-se a formação de diversos compostos complexos fosfatados de solubilidade diferentes (LINDSAY *et alii*, 1962).

Estas características apresentadas pelo fósfo-

ro no solo e as diferentes capacidades de extração do elemento apresentadas pelas plantas, dá origem ao conceito de efeito residual do fertilizante fosfatado.

2.2. Formas de fósforo no solo

As diferentes formas do fósforo existentes no solo podem ser agrupadas em:

2.2.1. Fósforo em solução

O elemento encontra-se diluído na água do solo seja como íon orto-fosfato monovalente e/ou divalente, podendo-se apresentar também como íon fosfato trivalente, sob determinadas características do solo, sendo o pH a de maior influência (MENGEL, 1982). O orto-fosfato monovalente considerado como a forma mais absorvida pela planta, predomina nos valores pH de 5 a 6,5, a maiores valores existe a predominância do orto-fosfato divalente (LARSEN, 1967).

A concentração do fósforo na solução solo é bastante variável, podendo flutuar entre 0,1 e 1 ppm (FASS-BENDER, 1982); a concentração ótima para o normal desenvolvimento das plantas, depende das condições do solo assim como da própria planta (FOX e KAMPRATH, 1970).

2.2.2. Fósforo sorvido

É o fósforo que se apresenta adsorvido e absor

vido no solo. Conhece-se esta capacidade do solo, de sorver ou reter o fósforo, como sorção do fósforo (HENWALL, 1957).

2.2.2.1. Adsorção do fósforo

É a capacidade que o solo tem de reter os ânions fosfatos na superfície dos compostos nele existentes (VOLKWEISS e VAN RAIJ, 1976). A adsorção do íon fosfato se refere à adsorção química ou específica, pois ela deve compreender uma troca ou doação de elétrons, que permite um alto grau de covalência (PARFITT *et alii*, 1975), diferenciando-se das adsorções que envolvem ligações eletrostáticas. Entretanto, a adsorção de fosfatos pode acontecer ainda na superfície carregada negativamente (HINGSTON *et alii*, 1973).

A adsorção está determinada, segundo FASSBENDER (1982), pela:

- a. Natureza dos compostos existentes nos solos, que influem na força de adsorção do ânion.
- b. Espécie vegetal, considerando que existe um equilíbrio dinâmico entre o fósforo adsorvido e o fósforo em solução (LARSEN, 1967), a capacidade de absorção da planta têm uma influência acentuada na concentração do fósforo adsorvido.

Estudando este processo três regiões diferentes foram estabelecidas, as quais estão em função da concentração dos fosfatos na solução do solo (MULJADI *et alii*, 1966).

- a. A primeira caracteriza-se pela alta energia de retenção do ânion fosfato que permite uma redução acentuada da quantidade do fosfato na solução, ocorrendo quando a concentração é inferior a 10^{-4} M e é independente do pH.
- b. Na segunda região, a afinidade entre o fósforo e a superfície é menor, sofrendo a adsorção quando a concentração do fosfato monovalente na solução do solo está entre 10^{-4} e 10^{-3} M. Nesta região, o fenômeno segue a Isoterma de Langmuir.
- c. Na terceira região, o fenômeno não mais segue a Isoterma de Langmuir, uma vez que não existe a adsorção superficial, mas sim, combinações de orto-fosfato monovalente com forças inorgânicas. A concentração na solução deve ser igual ou maior a 10^{-3} M.

Entre os compostos onde pode acontecer o fenômeno de adsorção de fosfatos, podemos citar:

2.2.2.1.1. Minerais de argila

O poder anfotérico apresentado pelas argilas, permite que sob condições de acidez dos solos, que os íons oxidrilos existentes nas suas camadas externas aceitem prótons carregando-se positivamente, ficando assim em condições para a adsorção dos fosfatos (KAMPRATH, 1976), cuja ligação pode acontecer através de um só enlace sob altas concentrações de fósforo, ou com um enlace duplo quando existem baixas concentrações

(MULJADI *et alii*, 1966).

Na zona de quebramento dos cristais, também pode acontecer a adsorção do íon fosfato, mas a sua entrada na região amorfa ou semi-cristalina da superfície da argila origina o fósforo ocluso. Essa adsorção acontece quando existe uma limitação na concentração do elemento no solo (MULJADI *et alii*, 1966).

A ocorrência do fenômeno de adsorção dos fosfatos requer uma baixa energia de ativação, que implicaria a existência de um processo de difusão controlado, entre o meio e a superfície da argila (KUO e LOTSE, 1974), determinado por duas reações sendo a primeira uma rápida troca de ânion entre o meio e a superfície do cristal, e a segunda entre a superfície do cristal e o interior dele (NELSON *et alii*, 1942). O processo de difusão controlado pode ser influenciado pelo gradiente de difusão entre a solução e a superfície, assim como pela diferença de potencial elétrica entre a superfície e o íon (KUO e LOTSE, 1974).

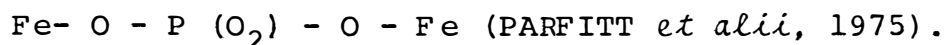
2.2.2.1.2. Compostos de ferro e alumínio

Os principais compostos no solo que estão relacionados com a adsorção do fósforo são os óxidos hidratados de ferro e alumínio, mas também poderiam se encontrar os óxidos de titânio (PERKINS e KING, 1944).

Os óxidos hidratados caracterizam-se por seu poder anfotérico, permitindo que a valores pH baixos aconteça uma protonação dos radicais oxidrilos (FASSBENDER, 1982), ficando em condições de adsorver o ânion orto-fosfato. Ao abaixar o pH, paralelamente à protonação, ocorre uma maior solubilização dos compostos complexos de ferro e alumínio existentes, apresentando uma maior capacidade de reação com os fosfatos existentes no solo (FRANKLIN e RESEINAUER, 1960), com ligações controladas pela faixa de difusão dos íons ao longo da película de umidade que encobre as partículas (HSU e JACKSON, 1960).

A adsorção que acontece com os óxidos hidratados permite a formação de compostos precipitados de solubilidade diferentes (LINDSAY *et alii*, 1962), mas esta reação não poderia receber o nome de "fixação" que implica uma errônea conotação de irreversibilidade e o processo de reação dos fosfatos no solo é medido pelo desenvolvimento da espécie (SANCHEZ, 1976) que apresentam capacidades diferentes de extração de fósforo.

Alguns compostos como a goetita, hematita, lepidocrita e o hidróxido férrico apresentam estruturas de coordenação em suas superfícies, com substituição de dois íons oxidrilos por um ânion fosfato, que cede dois átomos de oxigênio para sua coordenação, cada um deles, com um íon férrico, resultando numa superfície binuclear complexa do tipo:



2.2.2.1.3. Matéria orgânica

A adsorção poderia acontecer devido ao poder anfotérico apresentado pelos radicais orgânicos (FASSBENDER, 1982), mas principalmente acontece uma quelatação do ferro e alumínio pelas longas moléculas orgânicas existentes na matéria orgânica do solo, como é o caso dos ácidos húmicos e fúlvicos, dando origem a compostos com uma energia de retenção variável (BORNEMIZA, 1966; PARFITT, 1978), sob pH 3 a 6.

O alumínio pode passar a formar parte da turfa, dando origem a um composto de alta afinidade pelo fosfato formando um complexo alumínio-turfa-fosfato, principalmente nos solos minerais superficiais ácidos, com alto teor de matéria orgânica (BLOOM, 1981).

2.2.3. Fósforo absorvido

Conhece-se como tal ao fósforo que ingressa no interior da planta, dando origem ao fósforo orgânico. Principalmente o fósforo é absorvido como íon orto-fosfato e através do sistema radicular (MALAVOLTA, 1980).

O elemento é absorvido, via sistema radicular, a partir da solução solo, que se encontra em equilíbrio dinâmico com o fósforo adsorvido. A mobilização do íon fosfato até a zona de ação radicular pode acontecer por difusão e fluxo de massa.

2.2.3.1. Difusão

Processo pelo qual a matéria é transportada de uma parte do sistema a outra, como resultado do movimento termal das moléculas ou íons (MALAVOLTA, 1980); este movimento está entre a fase sólida e a fase líquida, sendo contínuo até atingir o equilíbrio (NYE, 1966).

A difusão é o principal mecanismo de mobilização do fósforo até a zona de influência radicular (GUNARY e SUTTON, 1967).

2.2.3.2. Fluxo de massa

Neste processo o movimento do íon acontece como produto da concentração dele na solução e do volume do líquido. Sua importância é bastante relativa no transporte do fósforo existente na solução do solo para as raízes, assim como para a lixiviação do elemento, porque o fósforo normalmente não é perdido por este processo. Somente uma pequena perda poderia acontecer através do tempo geológico (BARBER, 1962).

Sob altas concentrações de fósforo na solução do solo e de baixa capacidade de retenção por parte da fase sólida, o fluxo de massa apresenta alta importância na perda do elemento por lixiviação (ADEPETU, 1983), também naqueles solos que apresentam compostos orgânicos capazes de reagir com o ânion, facilitando sua solubilização e consequentemente sua movimentação para as camadas inferiores.

2.2.4. Minerais primários

Os minerais fosfatados de natureza primária são as apatitas, sendo as fluorapatitas, hidroxiapatitas e as cloroapatitas as mais generalizadas, obedecendo todas elas à fórmula geral: $\text{Ca}_{10}(\text{F},\text{OH},\text{Cl})_2(\text{PO}_4)_6$.

A solubilidade destes compostos apatíticos encontra-se relacionada com o pH do solo e a concentração de matéria orgânica, sendo maior nos solos ácidos e ricos em matéria orgânica (MELLO *et alii*, 1983), sendo conhecidos estes compostos de natureza primária como rocha fosfatada.

No solo existe um elevado número de minerais fosfatados de origem secundária, muitos dos quais provavelmente ainda não foram detectados (LINDSAY *et alii*, 1962). Existem fosfatos de cálcio, de alumínio e férrico cristalizados, tal é o caso da variscita (fosfato de alumínio), a vivianita (fosfato férrico) e a strengita (fosfato férrico) e os fosfatos monocálcico e dicálcico, assim como, suas respectivas formas hidratadas (FASSBENDER, 1981). Além destes compostos pode-se encontrar fosfatos cristalinos complexos derivados da transformação de fertilizantes, como as taranakitas e os ortofosfatos de cálcio (TAYLOR *et alii*, 1960).

2.2.5. Fósforo orgânico

É o fósforo que forma parte da matéria orgânica principalmente como inositol fosfato ou lecitina, também como fosfolipídeos, ácidos nucleicos e outros (FREIRE, 1975).

A contribuição desta forma de fósforo ao fósforo total existentes no solo é variável, dependendo das condições

do meio (FASSBENDER, 1982; FASSBENDER e DIAZ, 1970; FREIRE, 1975; VIEIRA e BORNEMIZA, 1968, podendo atingir 80% do conteúdo total no solo.

O fósforo presente nos solos, caracteriza - se pelo equilíbrio dinâmico existente entre o que se encontra na solução do solo e aquela nos sólidos, mas a forma última não apresenta uma mesma velocidade de liberação do elemento devido à sua grande reatividade. Este fato permitiu o desenvolvimento dos conceitos de:

- a - Fósforo lábil: Parte do fosfato sólido que mantém um equilíbrio dinâmico, mais ou menos rápido, com o fósforo em solução (LARSEN, 1967).
- b - Fosfato não lábil: É a parte do fosfato sólido que não está ou entra em equilíbrio com o fósforo em solução muito lentamente.

2.3. Fatores que afetam a sorção de fósforo

A sorção de fósforo varia consideravelmente, em função tanto das condições que agem sobre o solo, como das suas características (CATANI e PELLEGRINO, 1960).

Entre os principais fatores que afetam a sorção do fósforo pelo solo, podem-se citar:

2.3.1. Temperatura

A influência da temperatura é bastante relati-

va, sendo pequena na mobilidade dos fosfatos de superfície (KUO e LOTSE, 1974), a qual aumenta a temperaturas moderadas e altos níveis de umidade (BOBOSEVSKA e SCHIOPU, 1969).

Sob condições de equilíbrio, as altas temperaturas favorecem a maior concentração do fósforo na solução do solo (BARROW e SHW, 1975), mas antes de alcançar o equilíbrio, as altas temperaturas favorecem a sorção do fósforo (CHIEN *et alii*, 1982), reduzindo sua capacidade de desorção, o que foi encontrado nas argilas montmorilonita, caulinita e illita, assim como nos óxidos hidratados, na gibsitita e na goetitita, principalmente quando o pH é baixo (HASEMAN *et alii*, 1950).

2.3.2. Umidade

A umidade relaciona-se diretamente com as transformações do fósforo no solo (BIDDAPPA e PERUR, 1978), permitindo, sob baixa umidade, a formação de compostos cristalizados de reduzida solubilidade (NELLER e COMAR, 1947; TALIBUDEEN, 1958), afetando desta maneira a difusão do fósforo para as raízes (MAHTAB *et alii*, 1971; REMER e SCHILLING, 1981; SHARPLEY e REED, 1982).

Condições de umidade máxima e predominância de redução no solo, permitem um acréscimo na capacidade de sorção do fósforo, aos diferentes valores pH, provavelmente pela maior disponibilidade de ferro divalente (HELFDORF e PATRICK, 1979), mas logo ela aumenta, devido principalmente à mudança

no pH e no potencial óxido-redutivo do solo. Sob estas condições, a velocidade das transformações foram afetadas positivamente pela temperatura (MORAES, 1973).

Pode-se concluir que a disponibilidade do fósforo no solo para a planta é uma função linear da umidade (OLSEN *et alii*, 1961).

2.3.3. Características do solo

Há uma acentuada interação entre as diferentes características ou propriedades dos solos, e a capacidade de sorção dos fosfatos por ele apresentados. Entre as principais características, tem-se:

2.3.3.1. Reação do solo ou pH

A faixa pH na qual a sorção de fósforo pode acontecer é bastante ampla, mas a sua natureza varia entre valores estreitos:

2.3.3.1.1. Na faixa entre 2 e 5, a sorção é devida à gradual dissolução de alumínio e ferro, que são precipitados com os fosfatos do solo.

2.3.3.1.2. Na faixa entre 4,5 e 7,0, o fosfato são sorvidos principalmente pelas bases divalentes (MIDGLEY, 1940; HSU e JACKSON, 1960).

A valor pH 5 existe uma maior formação de complexos básicos alumínio silicatado, assim como a polimerização deles, permitindo que em valores pH perto de 6 aconteça uma maior solubilização dos fosfatos, principalmente pelo caráter anfotérico do alumínio (WHITE e TAYLOR, 1977).

2.3.3.2. Concentração de argila

Considerando o caráter anfotérico das argilas, sua concentração encontra-se diretamente relacionada com a capacidade de sorção de fosfatos (FRANKLIN e RESEINAUER, 1960; UDO e UZO, 1972; AK BARI, 1981), embora as condições existentes no solo possam afetar esta característica; é assim que sob condições do trópico, o conteúdo de argila apresenta uma baixa influência (LOPEZ, 1983).

As características da própria argila como (FOX e SEARLE, 1977): extensão da superfície reativa e reatividade da superfície, nos indicam que além da quantidade de argila presente, é importante o tipo delas (McLAUGHLIN *et alii*, 1981), sendo as argilas do tipo 1:1, como as caulinitas, as que apresentam uma menor capacidade de sorção em comparação com as do tipo 2:1, explicando-se que os altos valores encontrados por alguns pesquisadores nas argilas cauliniticas (FOX e SEARLE, 1977), são devido à presença de impurezas (McLAUGHLIN *et alii*, 1981).

A baixa capacidade de sorção de fosfatos apresentadas pelas argilas cauliniticas é devido à sua reduzida

superfície total, que é da ordem de $28,2 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, assim como pelo baixo número de radicais oxidrilos superficiais por 100g de superfície total (NELSON *et alii*, 1942).

2.3.3.3. Mineralogia do solo

É importante diferenciar o efeito dos minerais presentes no solo, agrupando-os em:

2.3.3.3.1. Minerais primários

A sorção se encontra relacionada com a composição química e física do mineral (PERKINS, 1948), podendo-se manifestar que a substituição iônica têm uma influência acentuada, relacionada com a classe de cátions, a sua posição na estrutura do mineral e quantidade dos vários cátions no mineral (DEAN, 1949). Com estes conceitos, é fácil explicar a maior sorção da muscovita comparada com a da pirofilita, da flogopita e biotita em comparação com o talco.

A sorção de fosfatos pelos minerais se encontra diretamente relacionada com a substituição do silício pelo alumínio na estrutura tetraedral (PERKINS e KING, 1944), mas inversamente relacionada com a relação sílica-óxidos hidratados estruturais (DEAN, 1949).

Esta característica mineralógica vai influenciar a capacidade de sorção de fosfatos apresentada pelos diferentes materiais que dão origem aos solos, sabendo-se que

Ultissolos e Alfissolos derivados de basalto são os que requerem as maiores quantidades de fosfatos, em comparação com os derivados das rochas ácidas (JUO e FOX, 1977).

2.3.3.3.2. Minerais secundários

A sorção dos fosfatos pelos solos relaciona-se com a presença dos minerais secundários, principalmente com os óxidos hidratados de ferro e alumínio, que podem se encontrar como cobertura do complexo argiloso, aumentando sua superfície de adsorção aniônica, ou em forma livre, reagindo com os fosfatos e formando compostos precipitados (CATANI e GLÓRIA, 1964; MALAVOLTA *et alii*, 1965).

Além da quantidade dos óxidos hidratados de ferro e alumínio, é também de importância o tipo de composto existente, pois os diferentes compostos apresentam diferentes energias de retenção (HUFFMAN *et alii*, 1960), assim como a área específica (HUFFMAN *et alii*, 1960; JUO e FOX, 1977; NELSON *et alii*, 1942) e o ordenamento interno, pois são os óxidos amorfos os que apresentam uma maior capacidade de sorção que os óxidos cristalinos (BAHIA *et alii*, 1983).

No Brasil, foi determinado que os Latossolos (Oxissolos) apresentam menor capacidade de sorção de fosfatos por unidade de peso dos óxidos de ferro que os Podzólicos Vermelho Amarelo (Ultissolos), devido a que os Latossolos apresentam menor área superficial por unidade de peso, aliás,

maior cristalinidade (PRATT *et alii*, 1969).

Poder-se-ia manifestar que a capacidade de sorção de fósforo pelos solos é função da composição do material que deu origem ao solo e do grau de intemperismo existente, visto que as diferentes ordens do solo variam em relação a esta capacidade. Os Ultissolos e Alfissolos, por exemplo, derivados do basalto apresentam maiores requerimentos de fósforo que os derivados das rochas ácidas, mas sendo que os Ultissolos são mais intemperizados superam aos Alfissolos em suas exigências (JUO e FOX, 1977). Os Entissolos, Vertissolos e Inceptissolos apresentam uma baixa capacidade de sorção, possivelmente a alta capacidade dos Inceptissolos é devido à existência de material amorfo de origem vulcânica (FASSBENDER, 1966; McLAUGHLIN *et alii*, 1981), que são mais ativos para a interação superficial entre o solo e a solução, que os outros constituintes do solo (KANJI, 1980). Os Oxissolos com laterita endurecida apresentam baixas capacidades (LOPES, 1983).

2.3.3.4. Presença de íons

A disponibilidade de um determinado íon é em função, além de sua atividade na solução do solo, da atividade dos outros íons, assim como, da relação existente entre os íons trocáveis e os da solução do solo (KHASAWNEH, 1971).

2.3.3.4.1. Cátions presentes no solo

O ingresso de um cátion no complexo de troca, muda o estado físico-químico e a reação do solo, podendo como consequência, afetar a natureza da adsorção dos fosfatos (RAVIKOVITICH, 1939). Na gibsitita, encontrou-se que os cátions divalentes com raios iônicos perto de 1,0 Angstrom, como o cálcio, cádmio e estrôncio, aumentam a adsorção dos fosfatos, em comparação com outros cátions como o magnésio, zinco, sódio e potássio, cujos raios iônicos são muito diferentes de 1,0 Angstrom (HEYLAR *et alii*, 1976a,b).

O cálcio é considerado como o cátion trocável que reduz a desorção de fosfatos (BARROW e SHAW, 1979), a pH superior 5,0, mas a valores inferiores, a capacidade de sorção de fosfatos está diretamente relacionada com a concentração de alumínio trocável (FRANKLIN e RESEINAUER, 1960; UDO e UZO, 1972).

2.3.3.4.2. Presença de ânions no solo

A existência de outros ânions no solo têm um efeito competitivo com os fosfatos pelos sítios de troca (RAJAN e FOX, 1975), mas a energia de retenção varia com o ânion adsorvido. O fosfato pode substituir o sulfato e os silicatos dos sítios de troca e sob altas concentrações de fosfato pode ser trocada a sílica estrutural (RAJAN e FOX, 1975), mas o selenito e o arsenato podem reduzir a adsorção do fosfa

to na goetita (PARFITT, 1978).

A presença de sulfitos, sob condições de redução no solo, possibilita a maior difusão do fosfato à solução solo (WELP *et alii*, 1983).

2.3.3.5. Concentração de matéria orgânica

A matéria orgânica durante o processo de mineralização, libera ácidos fúlvicos e húmicos que reagem fortemente com os óxidos hidratados de ferro e alumínio (GREENLAND, 1971; PARFITT *et alii*, 1977) bloqueando seus sítios de troca reduzindo a adsorção de fósforo (GRANT, 1975); o que também pode acontecer pela liberação de oxalatos na remoção de matéria orgânica (Hudcova e Kavarova, 1969, citados por PARFITT, 1978), ou pela ação dos ácidos poligalacturônicos que substituem os íons fosfatos dos sítios de troca (NAGARAJAH *et alii*, 1968)

Nos solos do Estado de São Paulo, a concentração do fósforo na solução do solo está diretamente relacionada com a concentração da matéria orgânica (CATANI *et alii*, 1957), mas isso poderia acontecer também pela liberação do fósforo orgânico, principalmente quando as condições existentes favorecem a mineralização (OTTABONG, 1981).

A vinhaça é considerada como o tipo de matéria orgânica que permite manter por um maior tempo o fósforo solú-

vel no solo, sob a forma de fosfato de cálcio (MATIAZZO, 1979). A matéria orgânica proveniente da vinhaça, pode agir diretamente sobre o fosfato, permitindo a formação de compostos de alta solubilidade com os ácidos fúlvicos, no caso dos ácidos húmicos, a ação é variável pois os compostos formados apresentam diferentes graus de complexidade e mobilidade eletroforética (SINHA, 1971).

2.3.3.6. Textura do solo

Esta propriedade do solo atua de forma indireta afetando características como a umidade, conteúdo de argila e aeração do solo, que vão influenciar a capacidade de sorção de fósforo (OLSEN *et alii*, 1961; OLSEN e WATANABE, 1963).

2.4. Disponibilidade de fósforo

O fósforo disponível é aquele que pode ser absorvido pela planta. As principais formas disponíveis do fósforo são os ortofosfatos monovalentes e/ou divalentes, mas também são as formas que reagem com acentuada facilidade com as diferentes características do solo, formando parte dos compostos complexos de solubilidade variável (LINDSAY *et alii*, 1962).

A disponibilidade do fósforo no solo está relacionado com:

2.4.1. Fator Intensidade: determinado pela existência das formas disponíveis de fosfato na solução do solo (GUNARY

e SUTTON, 1967).

2.4.2. Fator Capacidade: determinada pelo fosfato sorvido no solo (GUNARY e SUTTON, 1967), sobre o qual as características do solo têm uma acentuada influência.

O fator intensidade se encontra influenciado pelo fator capacidade e com a energia de retenção do ânion (RENNIE e SOPER, 1958), podendo-se determinar esta num dado momento e mediante a seguinte fórmula (BACHE, 1963):

$$G = \log_{10} \frac{\text{fósforo sorvido}}{\text{fósforo solução}};$$

onde, G é a energia requerida.

Os fatores de intensidade e capacidade podem ser influenciados também pela concentração dos diferentes elementos no solo, é assim que o ferro e alumínio decrescem a intensidade e aumenta a capacidade, a presença de elementos como o amônio, ao aumentar a capacidade de absorção de fósforo pela planta (RENNIE e SOPER, 1958) aumentam a intensidade.

2.5. Distribuição dos compostos fosfatados no solo

A distribuição dos compostos fosfatados no solo estão relacionadas com a incidência dos fatores do intemperismo ^{AL-}(ABBAS e BARBER, 1964) no desenvolvimento do solo. Quando a incidência é máxima, existe predominância dos fosfatos de ferro e alumínio, assim como, dos fosfatos oclusos, nomeado aos fosfatos que se encontram formando parte da rede cris

talina do mineral (VOLKWEISS e VAN RAIJ, 1976); mas quando a incidência é fraca, existe predominância dos fosfatos de cálcio (GUTIERREZ, 1979; MELLO *et alii*, 1983).

A predominância dos compostos fosfatados está determinada pela influência do intemperismo na existência dos minerais secundários assim como na solubilização dos elementos e/ou compostos capazes de reagir com o fosfato (PRATT, 1961).

Sob altas condições de intemperismo, foi determinada a seguinte sequência dos compostos fosfatados em ordem decrescente de sua predominância: fosfatos oclusos - fosfatos de ferro - fosfatos de alumínio - fosfato de cálcio (CHANG e JACKSON, 1958; MISRA e GUPTA, 1971).

No solo os diferentes compostos fosfatados encontram-se em constantes transformações, influenciados pelas características do solo, principalmente o pH, pois, quando ele decresce, o primeiro composto fosfatado formado é o de alumínio, que por efeito do tempo possivelmente transforma-se em fosfatos de ferro primeiro e logo em fosfato ocluso. A transformação em fosfato de ferro (MELLO *et alii*, 1980; SHARMA, 1980; SHELTON e COLEMAN, 1968) pode ser explicada pela maior afinidade (ROBERTSON *et alii*, 1966), entre o ferro e o fosfato (YOST *et alii*, 1981).

Esta sequência dos compostos fosfatados é en-

encontrada nos solos submetidos a uma alta intemperização nas diferentes partes do mundo, como é o caso dos solos basálticos da Nova Zelândia (WILLIAMS e WALKER, 1969), na América Central (FASSBENDER *et alii*, 1968), na Venezuela (WESTIN e BRITO, 1969), em Puerto Rico (FASSBENDER *et alii*, 1978), assim como os solos pertencentes à Amazônia brasileira (VIEIRA e BORNEMIZA, 1968).

O intemperismo tem uma marcada influência nas diferentes características do solo, além da reação ou pH, também no teor e tipo de argila, matéria orgânica, óxidos hidratados e a capacidade de sorção do fósforo (SHARMA, 1980), assim como na magnitude da atividade dos cátions da fase sólida como gibsitita, alumínio-silicatos, óxidos hidratados de ferro, carbonato de cálcio, cálcio trocável e, possivelmente, sais solúveis (HSU e JACKSON, 1960).

Solos intemperizados com boa drenagem têm predominância dos fosfatos de ferro (WESTIN e BRITO, 1969); e os diferentes tipos de solos variam em relação aos compostos fosfatados. Os Andossolos de Costa Rica apresentam predominância dos fosfatos de alumínio, devido à sua alta concentração de compostos sílico-alumínicos, mas nos solos Aluviais e Latossólicos, existe predominância dos fosfatos de ferro, possivelmente, por seu deficiente regime hídrico (FASSBENDER, 1966b), a baixa presença de óxidos de ferro livre num Regossol permite a predominância dos fosfatos de

alumínio, mas nos solos Latossólicos, que têm uma alta concentração dos óxidos de ferro, são os fosfatos de ferro (MATTIAZZO, 1979); nos solos negros, existe predominância dos fosfatos de alumínio e nos solos Lateríticos e Vermelhos, foram encontradas os de fosfatos de ferro (MISRA e GUPTA, 1971). No Latossolo Vermelho-escuro-orto foi encontrado uma altíssima porcentagem de fósforo solúvel, até 90% do fósforo total, em ácido sulfúrico ao 0,05N (MELLO *et alii*, 1979).

Além das características do solo, a predominância dos compostos fosfatados são influenciados pela metodologia empregada para sua determinação no laboratório, como no caso do tempo de agitação, que está relacionado diretamente com o fósforo extraído (CAPANI e BATALGIA, 1968), da temperatura de trabalho, tanto a nível de incubação como de lixiviação da amostra (MACK e BERBER, 1960) e também com o extrator empregado (BLUE, 1970).

Os fertilizantes fosfatados aplicados num solo ácido liberaram rapidamente sua forma solúvel, que num curto tempo reage com os compostos de alumínio, dando origem aos fosfatos de alumínio, que logo após passam para fosfatos de ferro, podendo ingressar à rede cristalina do mineral dando origem ao fosfato ocluso, depois de um tempo prolongado (SHARMA *et alii*, 1980; SHELTON e COLEMAN, 1968).

2.6. O fósforo nos solos brasileiros

O fósforo como macronutriente é considerado co

mo uma das principais limitações na agricultura brasileira (FONSECA, 1977; MELLO *et alii*, 1980). O elemento pode fazer parte dos sistemas formados de óxidos hidratados de ferro, alumínio assim como também de titânio e de manganês (CATANI *et alii*, 1957) ou ser retidos pelas partículas coloidais (CATANI e PELLEGRINO, 1957; ALMEIDA NETO, 1975), podendo-se reduzir sua disponibilidade para a planta; mas também pode acontecer uma falta do elemento no solo (FONSECA, 1977).

Em solos de São Paulo, Brasil, foram encontradas relações diretas entre o conteúdo de matéria orgânica e o fósforo solúvel, assim como, com o fósforo total, para os solos Terra Roxa legítima e misturada, assim como, com os de baixada (CATANI *et alii*, 1957).

2.7. Corretivos para os solos ácidos

Com a finalidade de poder solucionar os problemas agrícolas apresentados nos solos ácidos, os diferentes Institutos de Pesquisa encontram-se desenvolvendo as metodologias mais adequadas para sua racional exploração, como é o caso do emprego de cultivares adotadas a essas condições, assim como, técnicas de uso e manejo de solos sendo o enfoque integral (SANCHEZ e SALINAS, 1981).

Uma das práticas comumente encontradas é o uso de corretivos da acidez dos solos, cuja finalidade é a de elevar o pH, mediante a precipitação do ferro e alumínio (MALAVOLTA, 1978).

Entre os principais produtos usados como corretivos, podem ser citados:

2.7.1. Cálcico-magnésicos

Caracterizam-se por fornecer ao solo cálcio e magnésio que pelo geral estão deficientes nos solos ácidos (FASSBENDER, 1981), além íons oxidrilos, que permitem a precipitação dos compostos de ferro e alumínio, acreditando-se que os oxidrilos substituiriam o fosfato ligado aos compostos (MALVOLTA *et alii*, 1965), e como consequência o pH sofre um acréscimo. Alguns pesquisadores afirmam que o emprego destes corretivos permite um aumento de 50% da efetividade do adubo fosfatado, quando a quantidade de alumínio trocável é alta (WOODRUFF e KAMPRATH, 1965); e outros pesquisadores admitem que a maior disponibilidade de fósforo é devido à mineralização do fosfato orgânico (HAYNES, 1982).

Além do efeito na liberação do fósforo, precipitação do ferro e alumínio, e fornecimento de cálcio e magnésio, deve-se considerar o efeito indireto do pH, o que ao sofrer um acréscimo permitirá uma maior solubilização dos nutrientes, assim como um maior desenvolvimento radicular (KAMPRATH, 1976).

A aplicação destes corretivos apresenta problemas em relação a:

2.7.1.1. Quantidade a empregar

Na atualidade existem diferentes fundamentos

para sua determinação (MELLO *et alii*, 1983), mas ela é de importância principalmente no desequilíbrio nutricional quando se faz uma excessiva aplicação (FASSBENDER, 1981).

2.7.1.2. Tipo de material a empregar

Os materiais apresentam diferentes concentrações de cálcio e magnésio, podendo atingir valores extremos (ALCARDE, 1982), além do diferente poder de neutralização apresentado pelos variados materiais (ALCARDE, 1983; MALAVOLTA, 1981).

2.7.1.3. Característica do material

Principalmente relacionado com a granulação predominante no material, conhecendo-se que a maior finura será a sua reatividade (MALAVOLTA, 1981; MELLO *et alii*, 1983).

Na aplicação dos corretivos, também deve ser considerado as relações solo-planta, pois é a planta que apresenta uma acentuada influência na quantidade, época de aplicação e tipo de corretivo a ser usado (SANCHEZ, 1976).

2.7.2. Fosfatagem

São os corretivos empregados para precipitar os compostos de ferro e alumínio, que reagem com os fosfatos aplicados. Na realidade, a aplicação deste tipo de corretivo deve obedecer a um prévio estudo econômico, pois implica a

neutralização do alumínio e do ferro com um elemento nutricional.

A aplicação do adubo fosfatado com esta finalidade, deve ser em toda a área da cultura, a diferença do adubo aplicado como fornecedor do elemento para as plantas, que requer uma localização perto do sistema radicular, a fim de evitar um maior contacto com o solo (YOST *et alii*, 1981).

2.7.3. Silicagem ou corretivos silícicos

Caracterizam-se por serem os silicatos, os que reagirão com os óxidos hidratados de ferro e alumínio existentes no solo, reduzindo desta maneira a capacidade de sorção do fósforo (SANCHEZ e SALINAS, 1981)

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do campo experimental

O presente trabalho experimental, conduzido em vasos com capacidade para três quilos de terra, foi localizado na casa de vegetação, destinada as pesquisas do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo na cidade de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil.

Geograficamente Piracicaba localiza-se aproximadamente entre 22°28' de Latitude Sul e 47°35' de Longitude Oeste (COMISSÃO DE ZONEAMENTO AGRÍCOLA, 1974).

3.2. Características do experimento

3.2.1. Solo

O solo empregado no trabalho encontra-se dentro do grupo dos Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Ministério da

Agricultura, 1960), amostrado em Capão Bonito, São Paulo, Brasil.

Amostras para as respectivas análises completas foram retiradas antes e vinte dias após a calagem, apresentando-se os resultados e sua discussão no capítulo de Resultados e Discussão, respectivos.

3.2.2. Temperatura

A temperatura dentro da casa de vegetação foi medida diariamente (Tabela 1), tendo-se observado que as máximas temperaturas foram atingidas entre as 12 e 14 horas.

3.2.3. Irrigação

O fornecimento de água foi feito duas vezes por dia, considerando-se a perda de H_2O de cada vaso, tratando-se de manter o solo à capacidade de campo (25%).

Os nutrientes adicionados ao solo foram o nitrogênio, o fósforo, o potássio e mais o ferro, zinco e boro.

3.2.4.1. Fontes

Empregou-se a uréia como fonte de nitrogênio (45% de N), o superfosfato triplo, como fonte de fósforo (45% de P_2O_5) e o cloreto de potássio como fonte de potássio (60%

Tabela 1 - Relação de temperaturas máximas e mínimas observadas durante a realização do experimento (média semanal)

Intervalo de dias (semana)	Temperatura (°C)	
	Máximas	Mínimas
De:		
04.10.83 a 10.10.83	33,8	19,6
11.10.83 a 17.10.83	35,5	22,8
18.10.83 a 24.10.83	35,6	19,4
25.10.83 a 30.10.83	33,1	16,8
31.10.83 a 06.11.83	35,0	19,7
07.11.83 a 12.11.83	36,4	20,9
13.11.83 a 19.11.83	35,8	19,6
20.11.83 a 26.11.83	38,4	19,9
27.11.83 a 03.12.83	38,6	19,7
04.12.83 a 10.11.83	38,3	20,4
11.12.83 a 17.12.83	34,9	25,0
18.12.83 a 24.12.83	37,0	24,7
25.12.83 a 31.12.83	36,6	24,1
01.01.84 a 07.01.84	39,4	22,6
08.01.84 a 14.01.84	40,1	22,8
15.01.84 a 21.01.84	40,3	24,0
22.01.84 a 28.02.84	35,9	21,5
29.01.84 a 04.02.84	40,6	23,3
05.02.84 a 11.02.84	41,8	23,0
12.02.84 a 18.02.84	43,1	22,9
19.02.84 a 25.02.84	43,6	23,6
Média de temperatura	37,8	21,7

de K_2O), paralelamente a esses adubos, foi empregado o sulfato de ferro, sulfato de zinco e o ácido bórico em forma de reagentes quimicamente puros.

O hidróxido de cálcio foi usado como corretivo da acidez do solo e fornecedor de cálcio.

3.2.4.2. Características do superfosfato triplo

A granulação apresentada pelo fertilizante é muito variável, havendo observados os seguintes diâmetros, de acordo com as peneiras GRANUTEST-TYLER por cada 50 g de fertilizante (Tabela 2).

Tabela 2 - Diâmetros dos grânulos de superfosfato triplo (g/50 g do fertilizante)

Diâmetro de abertura (mm)	Repetições		
	I	II	III
Maior de 2 mm	4,37	1,51	0,361
2 a 1	33,99	24,00	29,42
1 a 0,5	12,35	22,40	17,06
0,5 a 0,25	0,41	2,95	0,91
0,25 a 0,125	0,32	0,37	0,30
Menor de 0,125	0,57	0,64	0,63

C.V. = 36%

Estes dados obtidos podem ter importância nos

resultados obtidos, considerando que o trabalho experimental foi desenvolvido em vasos, que o fertilizante foi fornecido em forma granulada e que o fósforo apresenta pouca mobilidade no solo.

3.3. Componentes do estudo

3.3.1. Época da calagem

3.3.1.1. Vinte dias antes da primeira semeadura

3.3.1.2. Vinte dias antes da segunda semeadura

3.3.2. Modo de aplicação do superfosfato triplo

3.3.2.1. Todo ao início da primeira cultura

3.3.2.2. Parcelado: 50% no início da primeira cultura e 50% no início da segunda cultura

3.3.3. Doses de superfosfato triplo

3.3.3.1. 0 ppm de P ou 0 ppm de P_2O_5 ou 0 ppm de superfosfato triplo

3.3.3.2. 44 ppm de P ou 100 ppm de P_2O_5 ou 202 ppm de superfosfato triplo

3.3.3.3. 88 ppm de P ou 200 ppm de P_2O_5 ou 404 ppm de superfosfato triplo

3.4. Tratamentos de estudo

Nº	Código	DESCRICÃO			
		Calagem	Doses de fósforo	Época de aplicação do P	
1	Co P00	Sem	0	Testemunha	
2	Co P11	"	100 ppm P ₂ O ₅	No início do experimento.	
3	Co P12	"	200 ppm "	" " " "	
4	Co P20	"	0	Testemunha	
5	Co P21	"	100 ppm P ₂ O ₅	Parcelado	
6	Co P22	"	200 ppm "	"	
7	C1 P10	20 dias antes da 1. ^a semeadura	0	Testemunha	
8	C1 P11	"	100 ppm	Todo no início	
9	C1 P12	"	200 ppm	" " " "	
10	C1 P20	"	0	Testemunha	
11	C1 P21	"	100 ppm	Parcelado	
12	C1 P22	"	200 ppm	"	
13	C2 P10	20 dias antes da 2. ^a semeadura	0	Testemunha	
14	C2 P11	"	100 ppm	Todo no início	
15	C2 P12	"	200 ppm	" " " "	
16	C2 P20	"	0	Testemunha	
17	C2 P21	"	100 ppm	Parcelado	
18	C2 P22	"	200 ppm	"	
Adicionais:					
	Co P211	Sem calagem	50 ppm	Todo no início	
	C1 P211	20 dias antes da 1. ^a semeadura	50 ppm	" " " "	
	C2 P211	20 dias antes da 2. ^a semeadura	50 ppm	" " " "	

Descrição do código:

- Co : sem calagem
- C1 : com calagem, incorporada 20 dias antes da primeira semeadura.
- C2 : com calagem, incorporada 20 dias antes da segunda semeadura.
- P10 : aplicação do fertilizante fosfatado todo no início do trabalho.
- P20 : aplicação do fertilizante fosfatado na forma parcelada.
- P00 : sem aplicação do fertilizante fosfatado.
- P01 : aplicação de 100 ppm de pentóxido de fósforo ou P₂O₅.
- P02 : aplicação de 200 ppm de pentóxido de fósforo ou P₂O₅.

3.5. Procedimento

3.5.1. O solo foi preparado para ser empregado como Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), em quantidade de três quilos por cada vaso, empregando-se um total de 57 vasos.

3.5.2. A calagem foi feita a 10 de setembro e a 7 de setembro de 1983, empregando-se o hidróxido de cálcio como corretivo, na quantidade aproximada de 4 t/ha. O corretivo foi uniformemente misturado com os três quilos de terra. A calagem permitiu a elevação no pH de 4,1 a 5,5, vinte dias após a sua incorporação, empregando-se 4,00 g/vaso, de acordo com o critério de KAMPRATH (MALAVOLTA, 1981).

3.5.3. Fornecimento dos fertilizantes

O superfosfato triplo foi aplicado logo após retirado os primeiros 10 cm de terra, tratando-se de distribuir o mais homogeneamente possível na superfície exposta. Os fertilizantes nitrogenado e potássico foram aplicados em solução (100 ppm de N e 100 ppm de K_2O). A incorporação foi feita aos dois dias da semeadura.

3.5.3. Semeadura

Teve-se duas datas de semeadura do sorgo empregado como planta teste, a primeira a 01 de outubro de 1983 e a segunda a 27 de dezembro de 1983.

3.5.5. Desbaste

Foi praticado aos 10 dias após a semeadura, deixando-se 10 plantas por cada vaso.

3.5.6. A colheita foi feita aos 40 dias após a semeadura, avaliando-se o peso de matéria seca da parte aérea.

3.6. Análise do material vegetal

3.6.1. As amostras da parte aérea da planta foram lavadas por três vezes em água destilada e colocadas posteriormente em saquinhos de papel devidamente furados, deixando-se logo na estufa a temperaturas entre 60°C e 70°C, por três dias aproximadamente, até atingir peso constante.

3.6.2. Extratos

Os extratos de plantas foram obtidos, usando-se a digestão úmida nitro-perclórica, com uma diluição de 1:50, e analisado o fósforo, cálcio, magnésio e alumínio. A metodologia empregada foi a usada nos laboratórios de análises de plantas da ESALQ e do CENA, onde foram feitas as respectivas determinações (SARRUGE e HAAG, 1974).

3.7. Análise dos solos

Foram feitas duas análises químicas para fins de fertilidade, sendo uma correspondente à amostra de solo

logo após ser peneirado e a segunda à amostra de solo obtida vinte dias após a calagem.

Ao final do trabalho fizeram-se determinações dos fosfatos ligados ao ferro, ao cálcio e ao alumínio se empregando como extratores o fluoreto de amônio 0,5 N para o fósforo ligado ao alumínio, o hidróxido de sódio 0,1 N para o fosfato ligado ao ferro e o ácido sulfúrico 0,5 N para o fósforo ligado ao cálcio (JACKSON, 1970).

A determinação do fósforo foi feita por fotocolorimetria, empregando-se o ácido sulfureto a 0,05N como extrator que é normalmente usada no Laboratório de Solos da ESALQ (CATANI e JACINTHO, 1974).

3.8. O desenho estatístico empregado foi o de Blocos Completos Casualizados, com distribuição em fatorial e o teste de Tukey para a determinação da significação. As análises estatísticas foram feitas no Centro de Computador do CENA.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise de solos

O solo em estudo, de acordo com os resultados obtidos da análise respectiva é pobre nutricionalmente, apresentando um pH baixo com alta concentração de alumínio trocável e baixo teor de saturação de bases. O fósforo apresenta concentrações bastante baixas constituindo uma das principais limitações na produção das culturas nesse solo (Quadro 4).

Tabela 4 - Resultados das análises de solos

Amostra	pH	Teor trocável (e.mg/100 g)						% V	CTC
		PO ₄ ³⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H ⁺		
Sem calagem	4,1	0,03	0,40	0,48	0,12	2,00	7,52	11,7	8,55
Com calagem	5,5	0,04	3,47	0,25	0,10	0,25	4,80	44,1	8,66

A calagem feita vinte dias antes da semeadura de sorgo, permitiu um melhoramento das propriedades nutricio-

nais do solo, aumentando a porcentagem de saturação de bases trocáveis, devido ao cálcio fornecido com o corretivo, e reduzindo o teor de alumínio trocável que se encontra diretamente relacionado com a acidez do solo (REEVE e SUMMER, 1970), por precipitação com os grupos hidroxilos do corretivo (SERPA e BORNEMIZA, 1982) permitindo um aumento no valor pH de 4,1 a 5,5. Observa-se também que a amostra com calagem apresenta uma maior concentração de cálcio trocável (de 0,40 a 3,47 e.mg/100 g), mas uma redução na concentração do magnésio (de 0,48 a 0,25) e do potássio (de 0,12 a 0,10); possivelmente por deficiência do método empregado.

O nível do fósforo como consequência da calagem apresenta um ligeiro acréscimo na sua concentração (de 0,03 a 0,04 e.mg de PO_4^{3-} /100 g), o que poderia acontecer devido a uma possível liberação do elemento dos compostos complexos de reduzida solubilidade (CHANG e JACKSON, 1957) ou também pela liberação do fósforo orgânico (OTTABONG, 1981; BORNEMIZA, 1966). No solo, pode ainda se encontrar mais fósforo mas ele estaria formando compostos complexos de ferro e alumínio de muita reduzida solubilidade (JORGE e VALADARES, 1969) e também como fósforo ocluso (LINDSAU *et alii*, 1962).

4.2. Produção de matéria seca do sorgo

4.2.1. Forma de aplicação do fertilizante fosfatado

Encontrou-se uma maior produção de matéria

seca, estatisticamente significativa, nos tratamentos que receberam o fertilizante fosfatado em forma parcelada, aliás, cinquenta por cento no início do plantio e cinquenta por cento na segunda semeadura. O efeito pode se observar nas diferentes doses de fósforo empregadas (Quadro 5) encontrando-se uma maior produção com as maiores doses, e também com a calagem (Tabela 7), obtendo-se uma maior produção quando a calagem foi incorporada vinte dias antes da segunda semeadura.

Tabela 5 - Influência do modo de aplicação e das doses do fertilizante fosfatado, na produção de matéria seca de sorgo (g/vaso) na segunda cultura

Dose (ppm P_2O_5)	Modo de aplicação	
	Tudo no plantio	Parcelado
0	0,966	0,966
100	1,494	3,114
200	2,622	5,534

d.m.s. = 0,145

C.V. = 5,1%

A forma de aplicação do fósforo todo no plantio dispõe de um maior tempo para reagir com o solo, o que determinaria a maior formação de compostos de reduzida solubilidade e como consequência de menor disponibilidade para a planta na segunda semeadura (MELLO *et alii*, 1982), independentemente à baixa capacidade de recuperação do fer-

tilizante fosfatado apresentada pela cultura (MALAVOLTA, 1984).

As altas temperaturas nas quais se desenvolveu o trabalho (Tabela 2), possivelmente afetaram favoravelmente a sorção do fósforo (BARROW, 1979; BARROW e SHW, 1975; CHIEN *et alii*, 1982; RUSSELL *et alii*, 1958).

O efeito do parcelamento do fósforo é comprovado nas diferentes doses de fósforo testadas, encontrando assim mesmo uma relação direta entre as doses testadas e a produção de matéria seca, que se explica pela deficiência (Tabela 4) do fósforo no solo. A maior disponibilidade de fósforo com as maiores doses empregadas, permite à planta o desenvolvimento de um melhor sistema radicular (FRIED e SHAPIRO, 1960; MENGEL, 1982; SERPA e BORNEMIZA, 1982), com o que a absorção de nutrientes ficou favoravelmente afetada (MENGEL, 1982; MALAVOLTA, 1980). Isso pode ser observado através das concentrações de cálcio, magnésio e fósforo, analisados no presente trabalho (Tabela 6).

Tabela 6 - Absorção total de cálcio, magnésio e fósforo pelo sorgo, nos diferentes modos de aplicação e doses do fertilizante fosfatado (mg/vaso)

Doses ppm P ₂ O ₅	Modo de aplicação					
	Todo no plantio			Parcelado		
	Ca	Mg	P	Ca	Mg	P
0	0,280	0,181	0,050	0,279	0,181	0,050
100	0,486	0,312	0,073	1,099	0,725	0,218
200	0,871	0,476	0,229	2,063	1,458	0,393
d.m.s.	0,1031	0,0470	0,0288	0,1031	0,0470	0,0288
C.V.	10,5%	7,2%	14,7%	10,5%	7,2%	14,7%

De acordo com os resultados, pode-se comprovar que é o fósforo um dos elementos limitantes na produção da cultura. Ao analisar os dados, observa-se que o efeito das doses e o parcelamento do fertilizante fosfatado foram de alta eficiência na absorção dos elementos pela planta.

Tabela 7 - Efeito do modo de aplicação do fertilizante fosfatado e da calagem na produção de matéria seca do sorgo (g/vaso)

Calagem	Modo de aplicação	
	Todo no início	Parcelado
Sem	0,948	2,506
Com	2,067	3,555
Primeira semeadura	1,883	3,206
Segunda semeadura	2,251	3,903
d.m.s. = 0,145	C.V. = 5,1%	

A aplicação parcelada do fertilizante fosfatado deu, ainda sem a calagem, resultados estatisticamente significativos, devido ao menor tempo de exposição do elemento às condições existentes no solo (MELLO *et alii*, 1983), mas com a calagem obteve-se uma superioridade significativa na produção, devido à maior eficiência no uso do nutriente pela planta, pois a calagem além de fornecer cálcio, permite uma neutralização da toxicidade do alumínio (BARTLETT e RIEGO, 1972), permitindo um melhor desenvolvimento radicular da planta (BRENES e PEARSON, 1973; HAYNES, 1982), e uma maior absorção total de cálcio e magnésio pela planta de sorgo (Tabela 8).

Tabela 8 - Absorção total de cálcio e magnésio pelo sorgo, influenciado pela calagem e modo de aplicação do fósforo (mg/vaso).

Calagem	Modo de aplicação			
	Tudo no início		Parcelado	
	Ca	Mg	Ca	Mg
Sem	0,155	0,171	0,383	0,558
Com				
Primeira sementeira	0,670	0,367	1,499	0,878
Segunda sementeira	0,812	0,431	1,559	0,928
d.m.s.	0,145	0,047	0,145	0,047
C.V.	10,50%	7,2%	10,5%	7,7%

4.2.2. Calagem

A calagem permitiu estatisticamente, uma maior produção de matéria seca do sorgo, mas sua realização vinte dias antes da segunda semeadura permitiu uma produção superior àquela obtida quando foi efetuada vinte dias antes da primeira semeadura (Tabelas 7 e 9).

Tabela 9 - Influência da calagem e das doses de fósforo na produção de matéria seca (g/vaso) na segunda cultura

Calagem	Doses		
	0ppm	100ppm	200ppm
Sem	0,657	1,832	2,692
Com			
Primeira semeadura	1,047	2,330	4,257
Segunda semeadura	1,193	2,752	5,287

d.m.s. = 0,145

C.V. = 5,1%

A diferença estatística observada na época da calagem pode se explicar por:

- a. Uma maior extração nutricional pela primeira cultura do sorgo, limitando a disponibilidade dos nutrientes para a segunda cultura, como pode-se observar na Tabela 10.

Tabela 10 - Efeito da calagem na produção de matéria seca em duas culturas consecutivas de sorgo (g/vaso)

Calagem	Cultura	
	Primeira	Segunda
Sem	2,530	1,727
Com		
Primeira sementeira	7,370	2,544
Segunda sementeira	-	3,077

- b. O fósforo não absorvido pela primeira cultura teria um maior tempo de reação com o solo (MELLO *et alii*, 1983).
- c. O efeito da primeira cultura a respeito da alteração das propriedades do solo (FASSBENDER, 1981).
- d. O efeito das altas temperaturas que predominaram durante o decorrer do trabalho (BARROW, 1974, 1979; BARROW and SHAW, 1975, 1979; CHIEN *et alii*, 1982; MORAGHAN, 1980).

4.2.3. Influência da segunda aplicação do fertilizante fosfatado nos diferentes parâmetros da calagem

O acréscimo na produção de matéria seca do

sorgo, devido à segunda aplicação do fertilizante fosfatado, é mais acentuado nos tratamentos que não receberam a calagem reduzindo-se as porcentagens de incremento quando a calagem foi o mais próximo da cultura analisada (Tabelas 11a e 11b).

Tabela 11a - Porcentagem de aumento na produção de matéria seca da parte aérea de sorgo, por efeito da segunda aplicação do fósforo (%)

Calagem	Níveis de P ₂ O ₅ (ppm)	
	100	200
Sem	77,42	77,98
Com		
Primeira sementeira	67,80	80,37
Segunda sementeira	66,20	69,89

d.m.s. = 0,1776

C.V. = 5,1%

Tabela 11b - Efeitos dos diferentes tratamentos em estudo na produção de matéria seca da parte aérea do sorgo, na segunda cultura (g/vaso)

Época de incorporação do P	Sem calagem			Com calagem					
				antes da primeira			antes da segunda		
	50	100	200	Dose de fósforo					
	50	100	200	50	100	200	50	100	200
Ao início	0,62	0,93	1,28	0,04	1,43	3,18	1,11	2,16	3,40
Parcelado	-	2,76	4,10	-	3,24	5,33	-	3,34	7,17

Quando não foi feita a calagem, o fósforo fornecido ao solo na forma parcelada, teve uma maior eficiência em comparação com os tratamentos que receberam a calagem; isso pode se explicar porque, sem calagem, o fósforo tem uma ação, além de nutriente, como neutralizador da toxicidade do alumínio (BARTLETT e RIEGO, 1972), atuando como corretivo (SMITH e SANCHEZ, 1980).

Com a calagem, o fósforo só atua como nutriente para a planta, pois o corretivo permite uma redução da acidez do solo, sendo maior a sua eficiência quando é incorporada mais próxima da época de semeadura (RIOS *et alii*, 1968), pois com o tempo, devido principalmente à extração de bases pela primeira cultura (FASSBENDER, 1982), a calagem perde seu efeito inicial na correção da acidez.

4.3. Concentrações de fósforo ligado ao cálcio, ferro e alumínio, após a segunda colheita do sorgo

Os resultados obtidos (Tabela 12), de modo geral, são apresentados em função das máximas e mínimas concentrações encontradas nos diferentes tratamentos em estudo.

O fosfato ligado ao ferro foi o predominante, seguido do fosfato ligado ao cálcio, e as menores concentrações correspondem ao fosfato ligado ao alumínio.

Tabela 12 - Concentrações máximas e mínimas de fósforo ligado ao ferro, cálcio e alumínio

Concentrações	Fosfato		
	ligado ao Fe	ligado ao Ca	ligado ao Al
Máximas	0,6166	0,21240	0,0791
Mínimas	0,3007	0,09210	0,0647

A sequência encontrada obedece, em linhas gerais, às indicadas para solos intemperizados (CHANG e JACKSON, 1958; YOST *et alii*, 1981; WESTIN e BRITO, 1969; WILLIAMS e BARKER, 1969; FASSBENDER *et alii*, 1968; SINGH *et alii*, 1983a.b), explicando-se a reduzida concentração de fosfatos de alumínio, pelo fato de que a determinação foi feita após a colheita, a qual utilizou o fosfato ligado ao alumínio como fonte do nutriente (YOST *et alii*, 1981; BIDDAPPA e PERUR, 1978; SINGHANIA e GOSWAMI, 1978), pois sob condições de solos ácidos, os fosfatos ligados ao cálcio constituem uma pobre fonte de fósforo para as plantas (TAYLOR *et alii*, 1960; 1964) o que fica reforçado, pela reduzida diferença existente entre as máximas e mínimas concentrações determinadas para o fosfato ligado ao alumínio.

A maior concentração de fosfatos ligados ao ferro encontrada, pode obedecer às transformações que acontecem nos solos, onde, com o tempo, os fosfatos ligados ao cálcio e ao alumínio, dão lugar aos fosfatos ligados ao ferro (CHANG e JACKSON, 1957; 1958; CATANI e PELLEGRINO, 1960; HSU e JACKSON, 1960; SHELTON e COLEMAN, 1968), sob condições

de acidez dos solos com predominância de óxidos hidratados de ferro e alumínio (ADEPETU, 1983), o que se deve ao fato de que o ferro apresenta uma maior afinidade pelo fósforo (YOST *et alii*, 1981. As transformações podem haver sido afetadas favoravelmente pelas altas temperaturas existentes durante a execução do trabalho experimental (BARROW e SHAW, 1975).

4.3.1. Influência da calagem

A calagem permitiu uma maior concentração de fosfatos ligados ao cálcio e ao alumínio; no caso dos fosfatos ligados ao ferro, só se pode observar uma maior concentração quando ela foi praticada vinte dias antes da segunda semeadura (Tabela 13).

Tabela 13 - Efeito da calagem e de sua época de aplicação na concentração do fósforo ligado ao cálcio, ferro e alumínio (e.mg PO_4^{3-} /100 g)

Calagem	Fosfatos		
	ligado ao Ca	ligado ao Fe	ligado ao Al
Sem	0,09210	0,3012	0,06760
Com			
Primeira semeadura	0,12300	0,3007	0,07880
Segunda semeadura	0,12090	0,3467	0,07060
d.m.s.	0,01435	0,03640	0,004597
C.V.	10,8%	9,4%	6,9%

O aumento na concentração de fosfatos ligados ao cálcio com a calagem, obedece ao fato de que com o corretivo, altas quantidades de cálcio são fornecidas ao solo, permitindo deste modo sua formação. O fosfato ligado ao ferro, sofre um acréscimo na sua concentração, quando a calagem foi na segunda sementeira, devido possivelmente a que o fósforo aplicado na primeira sementeira tem um maior tempo para reagir com o solo através das transformações (CHANG e JACKSON, 1958; TAYLOR *et alii*, 1964).

A calagem não modifica a concentração dos fosfatos ligados ao ferro e ao alumínio (HSU e JACKSON, 1960), quando feita na primeira sementeira.

4.3.2. Influência das doses de fósforo

Encontra-se uma relação direta entre as doses de fósforo e a concentração de fósforo ligado ao ferro. Esta relação também foi encontrada para o fosfato ligado ao cálcio e ao alumínio mas só até doses de 100 ppm de P_2O_5 (Tabela 14).

Tabela 14 - Concentrações do fósforo ligado ao ferro, cálcio e alumínio, nas diferentes doses de fósforo (e.mg PO_4^{3-} /100 g)

Doses de P_2O_5 (ppm)	Fosfatos		
	ligado ao Ca	ligado ao Fe	ligado ao Al
0	0,0986	0,3229	0,0647
100	0,2124	0,4734	0,0791
200	0,1920	0,6166	0,0735
d.m.s.	0,01475	0,0364	0,004597
C.V.	10,8%	9,4%	6,9%

Estes resultados podem se explicar, considerando o baixo teor do fósforo no solo em estudo (Tabela 4), e a possível alta quantidade de óxidos hidratados de ferro e alumínio que se encontra normalmente (EMBRAPA, 1982; FONSECA, 1977; CATANI *et alii*, 1957; ALMEIDA, 1975; MELLO *et alii*, 1980), o que permite uma rápida reação do fósforo incorporado com estes compostos mas é devido às transformações influenciadas favoravelmente com o tempo e à extração do fósforo pela planta a partir dos fosfatos ligados ao alumínio é que os fosfatos ligados ao ferro que apresentam uma relação significativa com respeito às doses crescentes do fertilizante fosfatado.

4.3.3. Influência do modo de aplicação do fertilizante fosfatado

Os fosfatos ligados ao cálcio e ao ferro aumentaram suas concentrações de forma significativa, quando o fertilizante fosfatado foi incorporado em forma parcelada, mas o fosfato ligado ao alumínio apresenta uma tendência a diminuir sua concentração (Tabela 15).

Tabela 15 - Influência do modo de aplicação do fósforo, na concentração do fósforo ligado ao cálcio, ferro e alumínio (e.mg PO_4^{3-} /100 g)

Modo de aplicação do P	Fosfato		
	ligado ao Ca	ligado ao Fe	ligado ao Al
Tudo no início	0,1498	0,4514	0,0796
Parcelado	0,1856	0,4972	0,0724
d.m.s.	0,02556	0,0515	0,0065
C.V.	10,8%	9,4%	7,8%

4.4. Concentrações de fósforo solúvel em ácido sulfúrico a 0,05N

4.4.1. Efeito do modo de aplicação do fertilizante fosfatado

Existe uma tendência em obter uma maior concentração de fósforo solúvel em ácido sulfúrico 0,05N, quando o fertilizante é aplicado tudo no início da primeira cultura (Tabela 16).

Tabela 16 - Influência do modo de aplicação do fósforo na concentração do fósforo solúvel em ácido sulfúrico 0,05N (e.mg PO_4^{3-} /100 g)

Modo de aplicação	Fósforo solúvel
Tudo no início	0,16089
Parcelado	0,15494
d.m.s. = 0,012518	C.V. = 6,9%

Os resultados sã confirmam a maior efetividade na absorção de fósforo existente quando o fertilizante é aplicado na forma parcelada, considerando-se que ao menos para o sorgo e nas condições de desenvolvimento do presente trabalho, o fosfato solúvel em ácido sulfúrico 0,05N determinado está constituído por fosfatos que provavelmente não são disponíveis para a planta.

4.4.2. Efeito das doses de fósforo aplicadas

Encontrou-se uma relação diretamente significativa entre as doses de fósforo e o valor do fósforo solúvel em ácido sulfúrico 0,05N (Tabela 17).

Tabela 17 - Influência das doses de fósforo na concentração do fósforo solúvel em ácido sulfúrico 0,05N (e.mg PO_4^{3-} /100 g)

Dose (ppm P_2O_5)	PO_4^{3-} solúvel
0	0,06103
100	0,13962
200	0,27312
d.m.s. = 0,00852	C.V. = 6,9%

Tratando de explicar os presentes resultados, ter-se-ia que considerar que os compostos de óxido hidratados de ferro e alumínio são altos, o que poderia se correlacionar com o baixo pH existente (MELLO *et alii*, 1980; CATANI *et alii*, 1957; FRIED e DEAN, 1955).

4.4.3. Efeito da calagem

A concentração do fósforo solúvel em ácido sulfúrico 0,05N foi inversamente relacionado com a calagem, sendo menor essa concentração com a aplicação do corretivo na época mais próxima à sementeira (Tabela 18).

Tabela 18 - Influência da calagem e de sua época de aplicação na concentração de fósforo solúvel em ácido sulfúrico 0,05N (e.mg PO_4^{3-} /100 g)

Calagem	PO_4^{3-} solúvel
Sem	0,17242
Com	
Primeira sementeira	0,15840
Segunda sementeira	0,14292
d.m.s. = 0,0088519	C.V. = 6,9%

Os resultados são explicados pela ação da calagem, reduzindo a capacidade de sorção do fósforo, ao precipitar os óxidos hidratados de ferro e alumínio (RIOS *et alii*, 1968; HAYNES, 1982), além de outras características do solo, como consequência da elevação do pH (SMYTH e SANCHEZ, 1980).

5. CONCLUSÕES

De acordo com as características do trabalho experimental e em função dos resultados obtidos, podem ser tiradas as seguintes conclusões:

- a. Há um melhor aproveitamento do fertilizante fosfatado, pela segunda cultura do sorgo, quando este é aplicado parceladamente.
- b. A calagem permite um melhor desenvolvimento da planta, mas este desenvolvimento é bem melhor quando o fertilizante fosfatado é fornecido.
- c. Não existe uma liberação do fósforo ligado ao ferro com a aplicação da calagem.
- d. O fosfato de cálcio sofre um decréscimo na sua concentração devido à calagem fornecido na segunda cultura, o que é acentuado com as doses de fósforo.

- e. A concentração do fósforo ligado ao cálcio e ao alumínio encontra-se inversamente relacionado com o fósforo ligado ao ferro e com a produção de matéria seca na segunda cultura do sorgo.

- f. Existe uma maior eficiência da calagem na produção de matéria seca, quando ela for feita em forma prévia à semeadura.

6. LITERATURA CITADA

- ADEPETU, J.A. 1983. Characteristic phosphorus sorption and its implications in soils on Ondo State of Nigeria. Beitragez Trop. Landwirt u Veterin 1981, 19(3):291-300. In: Fertilizer and Agriculture n^o 84 p. 52.
- AK-BARI, K.N. 1981. Effect of phosphorus and lime application on phosphorus availability at varying periods and soil moisture. Journal Indian Society Soil Science, 29(2):193-198. In: Fertilizer and Agriculture.
- AL-ABBAS, A. e S.A. BARBER. 1964. A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus: I. Correlation of soil phosphorus fractions with plant available phosphorus. Proceedings Soil Science Society of America, 28(2):218-221.

- ALCARDE, J.C. 1983. Características de qualidade dos corretivos da acidez do solo. VI Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo: 30 VIII ao 03 IX 1982. Campinas. Sociedade Brasileira do Solo.
- ALMEIDA NETO, J.X. 1975. Fixação de fosfatos em solos de Cerrado de Goiás. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" para obter o título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas. Piracicaba-SP.
- ANNUAL REPORT 1973, 74, 75, 78. Agronomic - Economic Research on Tropical Soils. Soil Science Department North Carolina State University. Raleigh. N.C.-AID.
- BACHE, B.W. 1963. Aluminum and iron phosphate studies relating to soils. I. Solution and hidrolysis of variscita and strengite. *Journal of Soil Science*, 14(1):113-123.
- BAHIA, F.A., BRAGA, J., RESENDE, M. e A. RIBEIRO. 1983. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central - Brasil. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, 7:221-226.
- BARBER, S.A. 1962. A diffusion and mass-flow concept of soil nutrient avaliability. *Soil Science*, 93(1):39-49.
- BARROW, N.J. 1974. On the displacement of adsorbed anions from soil. 2. Displacement of phosphate by arsenate. *Soil Science*, 117(1):28-33.

- BARROW, N.J. 1979. The effects of temperature on the reactions between inorganic phosphate and soil. *Journal of Soil Science*, 30(2):271-279.
- BARROW, N.J. e T.C. SHAW. 1975. The selow reactions between and anions. 2. Effect of time and temperature on the decrease in phosphate concentration in the soil solution. *Soil Science*, 119(2):167-177.
- BARROW, N.J. e T.C. SHAW. 1979. Effect of ionic strengh and nature of the cation on desorption of phosphate from soil. *Journal of Soil Science*, 30(1):53-65.
- BARTLETT, R.J. e D.C. RIEGO. 1972. Toxicity of Hidrxy aluminum in relation to pH and phosphorus. *Soil Science*, 114(3): 194-200.
- BIDDAPPA, C.C. e N.C. PERUR. 1978. Dynamics of phosphorus transformations in laterite soils of Mysore. Mysore. *Journal Agric. Science*. 12:91-94. In: *Phosphorus in Agriculture*. Agosto 1978, n^o 78, p. 45.
- BLOOM, P.R. 1981. Phosphorus adsorption by an aluminum-peat complex. *Journal of Soil Science Society of America*, 45(2): 267-272.
- BLUE, W.G. 1970. The effect of lime on retention of fertilizer phosphorus in Leon fine sand. *Proceedings Soil Crop Science Society. Florida*. 1970. 30:141-150. In: *Phosphorus in Agriculture*, June 1973. n^o 61. p.57.

- BOBOSEVSKA, D. e A. SCHIOPU. 1969. The effect of temperature, moisture and fertilizer on the mobile nitrogen and phosphorus forms in a grey forest soil. STIINTA Sol. 1969. 7(3):58-65. In: Phosphorus in Agriculture. Dezembro 1970. p. 50.
- BORNEMIZA, E. 1966. El fósforo organico en suelos tropicales. Turrialba, 16(1):33-38.
- BRENES, E. e R.W. PEARSON. 1973. Root responses of three gramineas species to soil acidity in an Oxisol and an Ultisol. Soil Science, 116(4):295-302.
- CATANI, R.A. e O.C. BATAGLIA. 1968. Formas e ocorrências do fósforo no solo latossólico roxo. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", XXV:99-119
- CATANI, R.A. e N.A. GLÓRIA. 1964. Evaluation of the capacity of phosphorus fixation by the soil trough the insotopic exchange using P^{32} . Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". XXI:229-237.
- CATANI, R.A. e A.O. JACINTHO. 1974. Avaliação da fertilidade do solo. Método de análise. Ceres. Piracicaba, São Paulo.
- CATANI, R.A.; NASCIMENTO, A.C. e J.R. GALLO. 1957. Formas e ocorrências do fósforo nos solos do Estado de São Paulo. Revista de Agricultura, XXXII(1):147-163.

- CATANI, R.A. e D. PELLEGRINO. 1957. A fixação do fósforo em alguns solos do Estado de São Paulo, estudada com auxílio do fósforo radioativo P³². Revista de Agricultura, XXXII (4):237-252.
- CATANI, R.A. e D. PELLEGRINO. 1960. Avaliação da capacidade de fixação do fósforo pelo solo. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", XVII:19-27.
- COLEMAN, R. 1944. The mechanism of phosphate fixation by montmorillonitic and kaolinitic clays. Proceedings of Soil Science Society of America, 9:72-78.
- COMISSÃO DE ZONEAMENTO AGRÍCOLA. 1974. Atlas de zoneamento do Estado de São Paulo. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Agricultura.
- CHANG, S.C. e W.K. CHU. 1961. The fate of soluble phosphate applied to soil. Journal of Soil Science, 12(2):286-293.
- CHANG, S.C. e M.L. JACKSON. 1978. Solubility product of iron phosphate. Proceedings of Soil Science Society of America, 21(3):265-269.
- CHANG, S.C. e M.L. JACKSON. 1957. Fractionation of soil phosphorus. Soil Science, 84(2):133-144.
- CHANG, S.C. e M.L. JACKSON. 1958. Soil phosphorus fractions in some representative soils. Journal of Soil Science 9(1):109-119.

- CHIEN, S.H.; SAVANT, N.K. e U. MOKWUNYE. 1982. Effects of temperature on phosphate sorption and desorption in two acid soils. *Soil Science*, 133(3):160-166.
- DEAN, L.A. 1949. Fixation of Soil Phosphorus. *Advances in Agronomy*, I:391-411.
- EMBRAPA. 1982. Adubação fosfatado no Brasil. Departamento de Informação e Documentação. Brasília.
- FASSBENDER, H.W. 1966. Formas de los fosfatos en algunos suelos de la zona oriental de la Meseta Central e de las Llanuras Atlánticas de Costa Rica. *Fitotecnia Latinoamericana*, 3(1,2):187-202.
- FASSBENDER, H.W. 1981. Química de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- FASSBENDER, H.W.; BEINROTH, F.H. e L.S. SARMIENTO. 1978. Amount and forms of phosphorus in ten highly weathered soils of Puerto Rico. *Turrialba*, 28(1):9-13.
- FASSBENDER, H.W. e N. DIAZ. 1970. Contenido y formas de fósforo de algunos suelos de la región Amazónica del Estado de Maranhão, Brasil. *Turrialba*, 20(3):372-374.
- FASSBENDER, H.; MULLER, L. e F. BALERDI. 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central. III. Formas y su relación con las plantas. *Turrialba*, 18(4):333-347.

- FONSECA, J.W. da. 1977. Fixação de fosfatos em três solos do Município de Mossoró. RN. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", para obter o título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas. Piracicaba.
- FOX, R.L. e E.J. KAMPRATH. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirement of soil. Proceedings of Soil Science Society of America, 34(6):902-907.
- FOX, R.L. e P.G.E. SEARLE. 1977. Phosphorus and sulphur sorption by soils of the tropics. Agronomy Abstract 1977. Annual Meeting A.S.A. Los Angeles. Novembre 1977. 43. In: Phosphorus in Agriculture. Novembre 1978, nº 78, p.30.
- FRANKLIN, W.T. e H.M. REISENAUER. 1960. Chemical characteristics of soils. Soil Science, 90(3):192-200.
- FREIRE, J.R. 1975. Microbiologia do solo. Departamento de Solos. Faculdade de Agronomia UFRGS-Porto Alegre, Brasil.
- FRIED, M. e L.A. DEAN. 1955. Phosphate retention by iron and aluminum in cation exchange systems. Proceedings of Soil Science Society of America, 19(2):143-147.
- FRIED, M. e R.E. SHAPIRO. 1960. Soil-Plant relations in phosphorus uptake. Soil Science, 90(1)-69-76.
- GUNARY, D. e C.D. SUTTON. 1967. Soil factors affecting plant uptake of phosphate. Journal of Soil Science, 18(1):167-173.

- GRANT, W. Thomas. 1975. The relations between organic matter content and exchangeable aluminum in acid soil. *Proceedings of Soil Science Society of America*, 39(3):591.
- GREENLAND, D.J. 1971. Interactions between humic and fulvic acids and clays. *Soil Science*, 111(1):34-41.
- GUTIERREZ, J. 1979. The relationships between inorganic phosphorus and the degree of weathering in Andosols. *Anales Edafologia Agrobiologia*, 1979, 38(9.10):1479-1494. In: *Phosphorus in Agriculture*, 1982, nº 82, p.64.
- HASEMAN, J.F.; BROWN, E.H. e C.D. WHITT. 1950. Some reactions of phosphate with clays and hydrous oxides of iron and aluminum. *Soil Science*, 70(4):257-271.
- HAYNES, R.J. 1982. Effects of liming on phosphate availability in acid soil. *Plant and Soil*, 68(3):289-308.
- HELFORD, I.C.R. e W.H. PATRICK. 1979. Effects of reduction and pH changes on phosphate sorption and mobility in on acid soil. *Journal of Soil Science Society of America*, 43(2):292-297.
- HEMWALL, J. 1957. The fixation of phosphorus by soils. *Advances in Agronomy*, IX:95-112.
- HEYLAR, K.R.; MUNNS, D.N. e R.G. BURAU. 1976. Adsorption of phosphate by gibbsite. I. Effects of neutral chloride salts of calcium, magnesium, sodium and potassium. *Journal of Soil Science*, 27(3):307-214.

- HEYLAR, K.R.; MUNNS, D.N. e R.G. BURAU. 1976b. Adsorption of phosphate by gibbsite. II. Formation of a surface complex involving divalent cations. *Journal of Soil Science*, 27(3):315-323.
- HINGSTON, F.J.; ATKINSON, R.J.; POSNER, A.M. e J.P. QUIRK. 1967. Specific adsorption of anions. *Nature*, 215(5109): 1459-1461.
- HSU, P.H. e M.L. JACKSON. 1960. Inorganic phosphate transformation by chemical weathering in soil influenced by pH. *Soil Science*, 90(1):16-24.
- HUFFMAN, E.O.; CATE, W.E. e M.E. DEMING. 1960. Rates and mechanism of dissolution of some ferric phosphates. *Soil Science*, 90(1):8-15.
- JACKSON, M.L. 1970. Análisis químico de suelos. OMEGA. 2 edición-Barcelona-Espanha.
- JORGE, J. e J. VALADARES. 1969. Formas de fósforo em solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, 28(2):23-30.
- JUO, A.S. e R.L. FOX. 1977. Phosphate sorption characteristics of some Bench mark soils of West-Africa. *Soil Science* 124(6):370-376.
- KAMPRATH, E.J. 1976. Phosphorus fixation and availability in highly weathered soils. IV Simpósio sobre o Cerrado: bases para a utilização agropecuária. 333-347.

- KANJI KAWAI. 1980. The relationships of phosphorus adsorption to amorphous aluminum for characterizing Andosol. *Soil Science*, 129(3):186-190.
- KHASAWNEH, F.E. 1971. Solution ion activity and plant growth. *Proceedings of Soil Science Society of America*, 35(3): 426-436.
- KUO, S. and E.G. LOTSE. 1974. Kinetics of phosphate adsorption and desorption by hematite and gibbsite. *Soil Science*, 116(6):400-406.
- LARSEN, S. 1967. Soil phosphorus. *Advances in Agronomy*, 19:151-207.
- LEAL, J.R. e A.C.X. VELLOSO. 1973. Adsorção de fosfato em Latossolos sob vegetação de Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira. Série Agronomia*, 8(7):81-88.
- LEE, C.R. 1971. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition of potatoes. *Agronomy Journal*, 63(4): 604-608.
- LINDSAY, W.L.; FRAZIER, A.W. e H.F. STEPHENSON. 1962. Identification of reaction products from phosphate fertilizer in soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*, 26(5):446-452.
- LOPEZ, H.C. 1983. Phosphorus retention in some tropical soils in relation to soil taxonomic classes. *Conn. Soil Sc. Pl. Anal.* 1982. 13(7):573-583. In: *Fertilizer in Agriculture*, nº 84, p. 55.

- MACK, A.R. e S. BARBER. 1960. Influence of temperature and moisture on soil phosphorus. I. Effect on soil phosphorus fractions. Proceedings of Soil Science Society of America, 24(5):381-385.
- MAHTAB, S.; GODFREY, C.L.; SWOBODA, A.R. e G.W. THOMAS. 1971. Phosphorus diffusion in soils. I. The effect of applied phosphorus; clay content and water content. Proceedings of Soil Science Society of America, 35(3):393-397.
- MALAVOLTA, E. 1978. Glossário de utilização de fertilizantes. Publicação da NADA-São Paulo.
- MALAVOLTA, E. 1980. Elementos de nutrição mineral das plantas. Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo.
- MALAVOLTA, E. 1981. Manual de química agrícola: adubos e adubação. Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo. 3a.ed.
- MALAVOLTA, E. 1984. Exigências nutricionais das plantas e necessidades de fertilizantes e corretivos. Simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira. EMBRAPA-Brasília. Agosto 1984.
- MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O.J.; ANDRADE, R.G. de; ALVIZURI, C.; VENCOVSKY, R. e L.M. FREITAS. 1965. Estudos sobre a fertilidade dos solos do cerrado. I. Efeito da calagem na disponibilidade do fósforo. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", XXII:131-138.

- MATTIAZZO, P.M. 1979a. Fracionamento de fósforo de solos incubados com vinhaça. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", para obter o título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas. Piracicaba.
- MCLAUGHLIN, J.R.; RYDEN, J.C. e J.K. SYERS. 1981. Sorption of inorganic phosphate by iron and aluminum containing components. *Journal of Soil Science*, 32(3):365-377.
- MELLO, A.F.; BELLONI, E.; SANKOVSKY, F.; KEFFER, N. e F.M. VALERIS. 1980. Efeito do tratamento de um latossolo com fosfato sobre a capacidade de fixação de fósforo do mesmo. *Revista de Agricultura*, LV(3):127-131.
- MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; COBRA A. e J.CASTRO. 1983. Fertilidade do Solo. Livraria Nobel S.A. - São Paulo-Brasil.
- MELLO, F.A.F.; KRUG, J.F.; CANIEL, J.M.; LOPEZ, M.; GERALDI, R. e Nelo Vitorio. 1979. Fixação de fósforo por um latossolo Vermelho escuro-orto. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, XXXVI:53-66.
- MENGEL, K. e E.A. KIRKBY. 1982. Principles of plant nutrition. International Potash Institute. 3a. ed.
- MIDGLEY, A.R. 1940. Phosphate fixation in soils-A critical review. *Proceedings of Soil Science Society of America*. 5:24-30.

- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. 1960. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas. Comissão de Solos.
- MISRA, S.G. e B.P. GUPTA. 1971. Distribution of added phosphorus in soils as influenced by ferro ferric and aluminum ions. Anales INIA 1971. Serie geral. nº 1. 201-207. In. Phosphorus in Agriculture. Outubro 1973. nº 61. p. 58.
- MORAGHAN, J.T. 1980. Effects of soil temperature on response of flax to phosphorus and zinc fertilizer. Soil Science, 129(5):290-296.
- MORAIS, V.J.F. 1973. Efeitos da inundação do solo. I: Influência sobre o pH, o potencial de óxido redução e disponibilidade de fósforo no solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 8(7):93-101.
- MULJADI, D.; POSNER, A.M. e J.P. QUIRK. 1966. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudobrookite. I.II.III. Journal of Soil Science, 17(2):212-237.
- NAGARAJAH, S.; POSNER, A.M. e J.P. QUIRK. 1968. Desorption of phosphate from kaolinite by citrate and bicarbonate. Journal of Soil Science Society of America, 32(4):507-510.
- NELLER, J.R. e C.L. COMAR. 1947. Factors affecting fixation of phosphorus in soils as determined with radioactive phosphorus. Soil Science, 64:379-387.

- NELSON, W.L.; KRANTZ, B.A.; COLWELL, W.E.; WOLTZ, W.G.;
HAWKINS, A.; DEAN, L.A.; MACKENZIE, A.J. e E.J. RUBINS.
1942. Application of radioactive tracer technique to studies
of phosphatic fertilizer utilization by crops. II. Field
experimet. Proceedings of Soil Science Society of America.
12:113-123.
- NYE, P.H. 1966. The measurement and mechanism of ion diffusion
in soil. I. The relation between self-diffusion and bulk
diffusion. Journal of Soil Science, 17(1):16-23.
- OLSEN, S.R. e F.S. WATANABE. 1963. Difusion of phosphorus as
related to soil texture and plant uptake. Proceedings of
Soil Science Society of America, 27(6):648-652.
- OLSEN, S.R.; WATANABE, F.S. e R.E. DANIELSON. 1961. Phosphorus
absorption by corn roots as affected by moisture and
phosphorus concentration. Proceedings of Soil Science
Society of America, 25(4):289-294.
- OTTABONG, E. 1981. Immobilization and mobilization of phosphorus
status of calcium and soil acidity in two pests incubated
without and with lime. Acta Agric. Scandinávia, 31(2):123-
131. In. Fertilizer and Agriculture, setembro 1982., nº 83,
p. 60.
- PARFITT, R.L. 1977. Phosphate adsorption on an Oxisol. Journal
of Soil Science Society of America, 41(6):1064-1067.

- PARFITT, R.L. 1978. Anion adsorption by soils and soils materials. *Advances in Agronomy*, 30:1-49.
- PARFITT, R.L.; ATKINSON, R.J. e R.S.C. SMART. 1975. The mechanism of phosphate fixation by iron oxides. *Proceedings of Soil Society of America*, 39(5):837-841.
- PARFITT, R.L.; FRASER, A.R. e V.C. FARMER. 1977. Adsorption on hydrous oxides. III. Fulvic acid and humic acid on goethite, gibbsite and imogolite. *Journal of Soil Science*, 28(2):289-296.
- PERKINS, A.T. 1948. Kaolin and treated kaolins and their reactions. *Soil Science*, 65:185-191.
- PERKINS, A. e H.H. KING. 1944. Phosphate fixation by soil minerals: mica and related groups. *Proceedings of Soil Science Society of America*. 8:154-158.
- PRATT, P.F. 1961. Phosphorus and aluminum interactions in the modifications of soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*, 25(6):467-469.
- PRATT, P.F.; PETERSON, F.F. e C.S. HELZHEY. 1969. Quantitative mineralogy and chemical properties of a few soils from São Paulo. *Brasil. Turrialba*, 19(4):491-496.
- RAJAN, S.S.S. 1975. Phosphate adsorption and the displacement of structural silicon in allophane clay. *Journal of Soil Science*, 26(3):250-256.

- RAJAN, S.S.A. e FOX, R.L. 1975. Phosphate adsorption by soils II. Reactions in tropical acid soils. Proceedings of Soil Science Society of America 39(5):846-851.
- RAVIKOVITCH, S. 1939. Influence of exchangeable cations on the availability of phosphate in soils. Soil Science, 47: 357-366.
- REEVE, N.G. e M.E. SUMMER. 1970. Effects of aluminum toxicity and phosphorus fixation on crop growth on Oxisols in Natal.
- REMER, W. e G. SCHILLING. 1981. Effect of the soil water regime on the diffusion coefficient of phosphate ions. Soviet Soil Science, 13(1):110-114.
- RENNIE, D.A. e R.J. SOPER. 1958. The effect of nitrogen additions on fertilizer phosphorus availability. II. Journal of Soil Science, 9(1):155-167.
- RIOS, V.; MARTINI, J.A. e R. TEJEIRA. 1968. Efecto del encalado sobre la acidez y el contenido de aluminio y hierro extraible en nueve suelos de Panama. Turrialba, 19(2):139-146.
- ROBERTSON, W.K.; THOMPSON, L.G. e C.E. HUTTON. 1966. Availability and fractionation of residual phosphorus in soils high in aluminum and iron. Proceedings of Soil Science Society of America, 30(4):446-450.

- RODRIGUEZ, M.R.S. e F.A.F. MELLO, 1981. Fatores que afetam a fixação de fósforo nos solos do Estado de São Paulo. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", XXXVIII(1):173-183.
- RUSSELL, S.R.; RUSSELL, E.W. e P.G. MORAIS. 1958. Factors affecting the ability of plant to absorb phosphate from II A comparison on the ability of different species to absorb labile soil phosphate. Journal of Soil Science, 9(1):101-108.
- SANCHEZ, P. 1976. Properties and management of soil in the tropics. John Wiley and Sons, New York-London-Sydney-Toronto.
- SANCHEZ, P. e J. SALINAS. 1981. Low input technology for managing Oxisols and Ultisols in Tropical America. Advances in Agronomy, 34:279-406.
- SARRUGE, J.R. e H.P. HAAG. 1974. Análisis químicas em plantas. Livroceres Ltda. Piracicaba - São Paulo.
- SERPA, R.V. e E. BORNEMIZA. 1982. Influencia del manejo de los suelos del trópico húmedo sobre sus propiedades químicas. Turrialba, 32(2):137-148.
- SHARMA, P.K. 1980. Transformation of added phosphorus into inorganic phosphorus fractions in some acid soils of Himachal "Pradesh". Journal Indians Society Soil Science, 28(4):450-453. In: Phosphorus in Agriculture 1982, nº 82, p.46.

- SHARPLEY, A.N. e L.W. REED. 1982. Effect of environmental stress on the growth and amounts and forms of phosphorus in plants. *Agronomy Journal*, 74(1):19-22.
- SHELTON, J.E. e N.T. COLEMAN. 1968. Inorganic phosphorus fractions and their relationships to residual value of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*, 32(1):91-94.
- SIMSON, C.R.; COREY, R.B. e M.E. SUMMER. 1979. Effect of varying Ca:Mg ratios on yield and composition of corn and alfalfa. *Commun. in Soil Science and Plant Analysis*, 10(1-2):153-162.
- SINGHANIA, R.A. e N.N. GOSWAMI. 1978. Transformation of phosphorus applied in soils under rice-wheat cropping sequence. *Plant and Soil*, 50(3):527-535.
- SINHA, M.K. 1971. Organo-metallic phosphate I. Interaction of phosphorus compound with humic substances. *Plant and Soil*, 35(3):471-484.
- SMYTH, J.T. e P. SANCHEZ. 1980. Effects of lime, silicate and phosphorus applications to an Oxisol on phosphorus sorption and ion retention. *Journal of Soil Science Society of America*, 44(3):500-505.

- TALIBUDEEN, O. 1958. Isotopically exchangeable phosphorus in soils. III: The fractionation of soil phosphorus. *Journal of Soil Science*, 9(1):120-129.
- TAYLOR, A.W.; GURNEY, E.L. e W.L. LINDSAY. 1960. An evaluation of some iron and aluminum phosphates as sources of phosphate for plant. *Soil Science*, 90(1):25-31.
- TAYLOR, A.W.; GURNEY, E.L. e E.C. MORENO. 1964. Precipitation of phosphate from calcium phosphate solutions by iron oxide and aluminum hydroxide. *Proceedings of Soil Science Society of America*, 28(1):49-52.
- UDO, E.J. e F.O. UZU. 1972. Characteristic of phosphorus adsorption by some Nigerian soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*, 36(6):879-883.
- VIEIRA, L.S. e E. BORNEMIZA. 1968. Categorias de fósforo en los principales grandes grupos de suelos en la Amazonia de Brasil. *Turrialba*, 18(3):242-248.
- VOLKWEISS, S.J. e B. Van RAIJ. 1976. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. IV Simpósio sobre o Cerrado: bases para a utilização agropecuária, 317-332.
- WELP, G.; HERMS, U. e G. BRUMMERR. 1983. Effect of soil reation, redox conditions and organic matter on the phosphate content of solution. *Zeitschrift fur Pflanzener-nahrung und Bodenkunde*. 1983. 146(1):38-52. In: *Soil and Fertilizer*, 46(5):404.

- WESTIN, F. e J.de BRITO. 1969. Phosphorus fractions of some Venezuelan soils related to their stage of weathering. *Soil Science*, 107(3):194-202.
- WHITE, R.E. e A.W. TAYLOR. 1977. Effects of pH on phosphate adsorption and isotopic exchange in acid soils at low and high additions of soluble phosphate. *Journal of Soil Science*, 28(1):48-61.
- WILLIAMS, J.D.H: e T.W. WALKER. 1969. Fractionation of phosphate in a maturity sequence of New Zealand Basaltic soil profiles. I. *Soil Science*, 107(1):22-29.
- WOODRUFF, J.R. e E.J. KAMPRATH, 1965. Phosphorus adsorption as measured by the Langmuir isotherm and its relationships to phosphorus availability. *Proceedings of Soil Science Society of America*, 29(2):148-150.
- YOST, R.S.; KAMPRATH, E.J.; NADERMAN, G.C. e E. LOBATO, 1981. Residual effects of phosphorus applications on high phosphorus adsorbing Oxisol of Central Brazil. *Journal fo Soil Science Society of America*, 45(3):540-543.