

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 O. Loli Figueroa *
André M. Louis Neptune**

RESUMO

Empregando-se o sorgo (Sorghum bicolor L. Moench), c.v. Brandes como planta teste e um solo Podzólico Vermelho-Amarelo da zona de Capão Bonito, ordem Oxissol, São Paulo, foi conduzido o presente trabalho experimental em vasos com capacidade para três quilos de TFSA instalados na casa de vegetação do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, de setembro de 1983 até fevereiro de 1984, período em que predominaram altas temperaturas.

-
- * Universidade Nacional Agrária de la Selva Tingo Maria, Peru.
* Universidade de São Paulo-ESALQ-Piracicaba, SP.

Calagem feita parceladamente e aplicação parcelada do fertilizante fosfatado em doses diferentes foram testados, 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.

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.

INTRODUÇÃO

A predominância de solos muito intemperizados nas regiões tropicais, como é o caso dos Oxisolos e dos Ultisolos que representam, respectivamente, 23% e 20% destes solos constitui uma das principais limitações da produção agrícola, no que diz respeito à pouca disponibilidade do fósforo, média ou alto teor de alumínio e baixo valor pH.

Nestas condições, utiliza-se corretivos calcáreos 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.

Por outro lado, devido ao fato de que a planta absorve pequenas, mas constantes quantidades de fósforo durante seu desenvolvimento, o fator tempo incrementa sua importância na disponibilidade do fósforo para a planta.

Em vista do exposto e tratando de encontrar uma possível solução, realizou-se o presente trabalho, apresentando-se a seguinte hipótese fundamental: "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, da Ordem Oxissol.

Os objetivos gerais que se pretende atingir no presente trabalho são:

- a. Determinar o efeito da calagem ou da aplicação do hidróxido de cálcio e da época da sua incorporação, na produção de matéria seca da parte aérea e na absorção do cálcio e do magnésio a partir da segunda cultura

ra do sorgo.

- b. Determinar a influência da aplicação parcelada do fertilizante fosfatado, na produção de matéria seca e na absorção do fósforo, do cálcio e do magnésio, na segunda cultura do sorgo.
- c. Determinar o efeito da calagem e dos modos de aplicação do fertilizante fosfatado, na concentração final dos fosfatos ligados ao ferro, cálcio e alumínio presentes no solo.

REVISÃO DE LITERATURA

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 e a limitada mobilidade do elemento no solo. Ao reagir o fósforo com os elementos e/ou compostos existentes no solo, dá-se a formação de diversos compostos fosfatados de solubilidade diferentes (LINDSAY et alii, 1962; NEPTUNE, 1976).

O fósforo presente nos solos, caracteriza-se pelo equilíbrio dinâmico existente entre o que se encontra na solução do solo e na fase sólida, 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 fósforo 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 entra em equilíbrio com o fósforo em solução muito lentamente.

Formas de fósforo no solo

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

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 e KIRKBY, 1982). O íon orto-fosfato monovalente considerado como a forma mais absorvida pela planta, predomina nos valores pH 5 a 6,5, a maiores valores pH existe a predominância do orto-fosfato divalente (LARSEN, 1967).

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

Fósforo sorvido

É o fósforo que se apresenta adsorvido e absorvido no solo. Conhece-se esta capacidade do solo, de sorver ou reter o fósforo, como sorção do fósforo (HENWALL, 1957), a qual varia em função tanto das condições que agem sobre o solo, como das suas características.

Adsorção do fósforo é a capacidade que o solo tem de reter os ânions fosfatos na superfície dos compostos nele existentes (NEPTUNE, 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, diferenciando-se das adsorções que envolvem ligações eletrostáticas. Entretanto, a adsorção de fosfatos pode acontecer ainda na superfície carregada negativamente (HINGSTON et alii, 1967; PARFITT et alii, 1975).

A adsorção está determinada pela natureza dos compostos existentes nos solos e pela espécie vegetal cuja capacidade de absorção 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. A primeira região 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. Na segunda, 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 e na terceira, 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 $10^{-3}M$. (MULTADI et alii, 1966).

Entre os compostos onde pode acontecer o fenômeno de adsorção de fosfatos, podemos citar os minerais da argila, os compostos de ferro e de alumínio e a matéria orgânica. O poder anfotérico apresentado pelas argilas permite que, sob condições de acidez dos solos, os

ions oxidrilos existentes nas suas camadas externas aceitem prótons carregando-se positivamente, ficando assim em condições para a adsorção dos fosfatos cuja ligação pode acontecer através de um só enlace sob altas concentrações de fósforo, ou com um enlace duplo quando existem baixas concentrações (MULTADI et alii, 1966; KAMPRATH, 1976).

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 na 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).

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 água 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 apresenta capacidades diferentes de extração de fósforo.

A adsorção poderia acontecer devido ao poder anfotérico apresentado pelos radicais orgânicos (FASSBENDER, 1982), mas principalmente acontece uma quelatação do ferro e alumínio pelas grandes moléculas orgânicas existentes na matéria orgânica do solo que liberam os ácidos húmicos e fúlvicos, dando origem a compostos com uma energia de retenção variável (BORNEMISA, 1966; PARFITT, 1978), sob pH 3 a 6, os quais podem reagir 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). Por outro lado, os ácidos poligalacturônicos podem substituir os íons fosfatos dos sítios de troca (NAGARAJAH et alii, 1968).

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, nome dado aos fosfatos que se encontram formando parte da rede cristalina do mineral;

mas quando a incidência é fraca, existe predominância dos fosfatos de cálcio (GUTIERREZ, 1979).

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).

N: 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 (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 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 BORNEMISZA, 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 com gibsita, 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, 1966); 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 fosfatos de ferro (MISRA e GUPTA, 1971).

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 (CATANI e BATALGIA, 1968), da temperatura de trabalho, tanto a nível de incubação como de lixiviação da amostra (MACK e BARBER, 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; SHERLTON

e COLEMAN, 1968).

Calagem

De acordo com COLEMAN *et alii*, (1958), a calagem é a incorporação ao solo de carbonatos, hidróxidos e óxidos de cálcio e magnésio, visando à correção dos efeitos nocivos da acidez e suprir cálcio e magnésio as plantas.

Em termos gerais, os solos, na região tropical, estão sujeitos à temperaturas elevadas e a excesso de chuvas e nestas condições, ocorre intensa remoção de bases por lixiviação; o que indica diminuição do valor pH do solo ou baixa acidez ou acidez elevada. Nos solos ácidos o alumínio está presente em forma hidratada como íon hidróxido trocável. FOY e BROWN, 1963; LANCE e PEARSON, 1969, verificaram que o Al^{3+} em níveis tóxicos reduz a capacidade das raízes em absorver PO_4^{3-} , Ca^{2+} , K^+ , se bem que existem plantas mais tolerantes de que outras à toxidez do Al^{3+} .

Então a finalidade dos corretivos da acidez do solo é a de elevar o valor pH mediante a precipitação do alumínio e ferro em formas de óxidos hidratados de Al e Fe.

Alguns pesquisadores afirmam que o emprego dos corretivos permite um aumento de 50% da efetividade do adubo fosfatado quando o teor de Al^{3+} é alto (WOODRUFF e KAMPRATH, 1965).

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 dos corretivos apresenta problemas em relação a quantidade a empregar, tipo de material a empregar e característica do material.

Na atualidade existem diferentes fundamentos para a sua determinação. Os materiais apresentam diferentes concentrações de cálcio e magnésio, podendo atingir valores extremos, além do diferente poder de neutralização (NEPTUNE, 1975; MALAVOLTA, 1981 e ALCARDE, 1983). Da característica do material, a predominante é a sua granulometria, sabendo-se que a reatividade do material depende da sua finura (SOUZA e NEPTUNE, 1979).

MATERIAL E MÉTODOS

Localização do campo experimental

O presente trabalho experimental, conduzido em vasos com capacidade para três quilos de terra, foi localizado na casa de vegetação 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.

Características do experimento

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, da Ordem Oxissol.

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.

Temperatura

A temperatura dentro da casa de vegetação foi medida diariamente acusando 38°C (máxima) e 22°C (mínima) durante o decorrer do experimento, tendo-se observado que as máximas temperaturas foram atingidas entre as 12 e 14 horas.

Rega

O fornecimento de água foi feito duas vezes por dia, considerando-se a perda de H₂O de cada vaso, tratando-se de manter o solo à capacidade de campo.

Fontes de nutrientes

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

Empregou-se a uréia como fonte de nitrogênio - (45% de N), o superfosfato triplo, como fonte de fósforo (45% de P₂O₅) e o cloreto de potássio como fonte de potássio (60% de K₂O).

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

Procedimento

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 45 vasos.

A calagem ou a aplicação de hidróxido de cálcio foi feita a 10 de setembro e a 7 de dezembro de 1983, empregando-se o hidróxido de cálcio como corretivo, na quantidade de 4 t/ha. O corretivo foi uniformemente misturado com os três quilos de terra. A calagem permitiu

a elevação do pH de 4,1 a 5,5, vinte dias após a sua in corporação.

Fornecimento dos fertilizantes

O superfosfato triplo foi aplicado logo após retido 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) no mesmo dia da sementeira.

Sementeira

Teve-se duas datas de sementeira do sorgo (Sorghum bicolor L. Moench., c.v. Brandes) empregado como planta teste, a primeira a 01 de outubro de 1983 e a segunda a 27 de dezembro de 1983.

Desbaste

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

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

Análise do material vegetal

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 $60^{\circ}C$ e $70^{\circ}C$, por três dias aproximadamente, até atingir peso constante.

Extratos e determinações do fósforo, cálcio e magnésio

Os extratores de plantas foram obtidos, usando-se a digestão nitro-perclórica, com uma diluição de 1:50, e os métodos empregados nas determinações do P, Ca e Mg, foram aqueles descritos em SARRUGE e HAAG, 1974.

Análise do solo

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 empregando como extratores o fluoreto de amônio 0,5N 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).

Desenho estatístico e tratamentos

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

Os 15 tratamentos com 3 Blocos foram estabelecidos na base dos seguintes componentes:

- Sem calagem ou sem $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Com calagem ou com $\text{Ca}(\text{OH})_2$
 - 1) incorporado 20 dias antes da primeira semeadura
 - 2) incorporado 20 dias antes da segunda semeadura

- Sem fósforo (Po)
- Com fósforo ($P_1 = 44$ ppm P e $P_2 = 88$ ppm P)

Além das doses de P, houve dois modos de aplicação do superfosfato triplo:

- a) tudo no início da primeira cultura ou seja no mesmo dia da primeira semeadura
- b) parcelado, 50% no início da primeira cultura e 50% no início da segunda cultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise do solo

O solo em estudo, de acordo com os resultados obtidos da análise respectiva é pobre em nutrientes, apresentando um valor pH baixo com alta concentração de alumínio trocável e baixo teor de saturação de bases. O fósforo apresenta concentração bastante baixa constituindo uma das principais limitações na produção de culturas nesse solo (Tabela 1).

A calagem feita vinte dias antes da semeadura de sorgo aumentou a porcentagem de saturação de bases trocáveis, devido ao cálcio fornecido com o corretivo, e reduziu o teor de alumínio trocável que se encontra diretamente relacionado com a acidez do solo, por precipitação com os grupos hidroxilos do corretivo permitindo assim 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.

Tabela 1 - Resultados das análises de solo

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

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; BORNEMISZA, 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 (LINDSAY et alii, 1962).

Produção de matéria seca do sorgo

Encontrou-se uma maior produção de matéria seca, estatisticamente significativa, nos tratamentos que receberam o fertilizante fosfatado em forma parcelada, aliás, cinquenta por cento do início do plantio e cinquenta por cento na segunda semeadura. O efeito pode se observar nas diferentes doses de fósforo empregadas (Tabela 2) encontrando-se uma maior produção com as maiores doses, e também com a calagem (Tabela 4), feita vinte dias antes da segunda semeadura.

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, independentemente da baixa capacidade de recuperação do fertilizante fosfatado apresentada pela cultura.

As altas temperaturas nas quais se desenvolveu o trabalho, possivelmente, favoreceram a sorção do fósforo (BARROW, 1979; BARROW e SHAW, 1975; CHIEN et alii, 1982; RUSSEL et alii, 1958).

O efeito do parcelamento do fósforo é comprovado nas diferentes doses de fósforo testadas, encontrando

Tabela 2 - 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)	Modo de aplicação do P	
	Todo no plantio	Parcelado
0	0,966	0,966
44	1,494	3,114
88	2,622	5,534

d.m.s. = 0,145

C.V. = 5,1 %

assim mesmo uma relação direta entre as doses testadas e a produção de matéria seca, que se explica pela deficiência (Tabela 1) 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 e KIRKBY, 1982; SERPA e BORNEMIZA, 1982), favorecendo a absorção de nutrientes.

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 do elemento pela planta.

A aplicação parcelada do fertilizantes fosfatado deu, ainda sem calagem, resultados estatisticamente significativos, devido ao menor tempo de exposição do elemento às condições existentes no solo, mas com a calagem obteve-se uma superioridade significativa na produção,

Tabela 3 - Absorção total de cálcio, magnésio e fósforo pelo sorgo, nos diferentes modos de aplicação e doses do fertilizante fosfatado (mg/vaso)

Doses ppm P	Modo de aplicação do P					
	Todo no plantio			Parcelado		
	Ca	Mg	P	Ca	Mg	P
0	0,280	0,181	0,050	0,279	0,181	0,050
44	0,486	0,312	0,073	1,099	0,725	0,218
88	0,871	0,476	0,229	2,063	1,458	0,393
d.m.s.	0,103	0,047	0,028	0,103	0,047	0,028
C.V.	10,5 %	7,2 %	14,7 %	10,5 %	7,2 %	14,7 %

Tabela 4 - Efeito do modo de aplicação do fertilizante fosfatado e da calagem na produção de matéria seca do sorgo (g/vaso)

Calagem	Modo de aplicação do P	
	Todo no início	Parcelado
Sem	0,948	2,506
Com		
Primeira semeadura	1,883	3,206
Segunda semeadura	2,251	3,903

d.m.s. = 0,145

C.V. = 5,1 %

devido à maior eficiência no uso de nutrientes 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 5).

A calagem feita aos vinte dias antes da segunda sementeira permitiu uma produção superior àquela obtida quando foi efetuada vinte dias antes da primeira sementeira (Tabelas 4 e 6).

A diferença observada na época da calagem pode ter as seguintes explicações:

- a. O fósforo não absorvido pela primeira cultura teria um maior tempo de reação com o solo.
- b. O efeito da primeira cultura a respeito da alteração das propriedades do solo.
- c. O efeito das altas temperaturas que predominaram durante o decorrer do trabalho.

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 mais próxima da cultura analisada (Tabelas 7 e 8).

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 sementeira (Tabela 9).

O aumento na concentração de fosfatos ligados ao

Tabela 5 - Absorção total de cálcio e magnésio pelo sorgo, influenciado pela calagem e modo de aplicação do fósforo (mg/vaso).

Calagem	Modo de aplicação do P			
	Todo no início		Parcelado	
	Ca	Mg	Ca	Mg
Sem	0,155	0,171	0,383	0,558
Com				
Primeira semeadura	0,670	0,367	1,499	0,878
Segunda semeadura	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 %

Tabela 6 - Influência da calagem e das doses de fósforo na produção de matéria seca (g/vaso) na segunda cultura.

Calagem	Doses de P		
	0 ppm	44 ppm	88 ppm
Sem	0,657	1,832	2,692
Com			
Primeira sementeira	1,047	2,330	4,257
Segunda sementeira	1,193	2,752	5,287

d.m.s. = 0,145

C.V. = 5,1 %

Tabela 7 - Porcentagem de aumento na produção de matéria seca da parte aérea de sorgo, por efeito da segunda aplicação do fósforo (%)

Calagem	Níveis de P (ppm)	
	44	88
Sem	77	78
Com		
Primeira semeadura	68	80
Segunda semeadura	66	70

d.m.s. = 0,177

C.V. = 5,1 %

Tabela 8 - 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	
	100	200	100	200	100	200
No início	0,93	1,28	1,43	3,18	2,16	3,40
Parcelado	2,76	4,10	3,24	5,33	3,34	7,17

Tabela 9 - Efeito da calagem e de sua época de aplicação na concentração do fóforo ligado ao cálcio, ferro e alumínio (e.mg PO_4^{3-} /100 g).

Calagem	Fósforos		
	Ligado ao Ca	Ligado ao Fe	Ligado ao Al
Sem	0,092	0,301	0,067
Com			
Primeira semeadura	0,123	0,301	0,079
Segunda semeadura	0,121	0,347	0,071
d.m.s.	0,014	0,036	0,004
C.V.	10,8 %	9,4 %	6,9 %



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 feita 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.

Por outro lado, encontra-se uma relação direta entre as doses de fósforo e a concentração de fósforo ligado ao ferro, ao cálcio e ao alumínio (Tabela 10).

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 11).

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

Efeito do modo de aplicação do fertilizante fosfatado

Existe uma tendência em obter uma maior concentração de fósforo solúvel em ácido sulfúrico 0,05 N, quando o fertilizante é aplicado tudo no início da primeira cultura (Tabela 12).

Os resultados só confirmam a maior efetividade

Tabela 10 - Concentrações do fósforo ligado ao PO_4^{3-} ferro, cálcio e alumínio, nas diferentes doses de fósforo (e.mg PO_4^{3-} /100 g)

Doses de P_2O_5 (ppm)	Fósforo		
	Ligado ao Ca	Ligado ao Fe	Ligado ao Al
0	0,097	0,323	0,065
100	0,212	0,473	0,079
200	0,202	0,617	0,073
d.m.s.	0,014	0,036	0,004
C.V.	10,8 %	9,4 %	6,9 %

Tabela 11 - Influência do modo de aplicação do fósforo, na concentração do fósforo ligado ao cálcio, ferro e alumínio (e.mg PO_4^- /100 g)

Modo de aplicação do P	Fósforo		
	Ligado ao Ca	Ligado ao Fe	Ligado ao Al
Tudo no início	0,150	0,451	0,079
Parcelado	0,185	0,497	0,072
d.m.s.	0,025	0,051	0,006
C.V.	10,8 %	9,4 %	7,8 %

Tabela 12 - Influência do modo de aplicação do fósforo na concentração do fósforo solúvel em ácido sulfúrico 0,05 N (e.mg PO_4^{3-} /100 g)

Modo de aplicação	Fósforo solúvel
Tudo no início	0,160
Parcelado	0,155

d.m.s. = 0,012

C.V. = 6,9 %

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 0,05 N determinado está constituído por fosfatos que provavelmente não são disponíveis para a planta.

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 0,05 N (Tabela 13).

Tabela 13 - Influência das doses de fósforo na concentração do fósforo₃ solúvel em ácido sulfúrico 0,05 N (e.mg PO₄³⁻ /100 g).

Dose (ppm P ₂ O ₅)	PO ₄ ³⁻ solúvel
0	0,061
100	0,139
200	0,273

d.m.s. = 0,008

C.V. = 6,9 %

CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos, podem ser tiradas as seguintes conclusões:

- Há um melhor aproveitamento do fertilizante fosfatado, pela segunda cultura do sorgo, quando este é aplicado parceladamente.
- A aplicação do Ca(OH)₂, chamada 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 do hidróxido de cálcio.
- 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.

SUMMARY

INFLUENCE OF SPLIT APPLICATION OF Ca(OH)_2 AND PHOSPHORUS ON THE DRY MATTER YIELD OF SORGHUM (*Sorghum bicolor* L. Moench) cv. BRANDES AND THE MAIN FORMS OF SOIL PHOSPHORUS

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 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 15 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.

LITERATURA CITADA

- AL-ABBAS, A. e S.A. BARBER, 1964. A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus: 1. 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 da Ciência do Solo.

- 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 slow reactions between soil 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 strength 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 Hydroxy aluminum in relation to pH and phosphorus. *Soil Science*, 114(3): 194-200.
- BLUE, W.G. 1970. The effect of lime on retention of fertilizer phosphorus in Leon fine sand. *Proceedings Soil Crop Science Society. Florida*. 30:141-150.
- BORNEMISZA, E. 1966. El fósforo orgánico 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.
- CHANG, S.C. e M.L. JACKSON. 1958. Soil phosphorus frac-

tions in some representative soils. *Journal of Soil Science* 9(1):109-119.

- CHIEN, S.H.; SAVANT, N.K. e U. MOKMUNYE. 1982. Effects of temperature on phosphate sorption and desorption in two acid soils. *Soil Science*, 133 (3):160-166.
- COLEMAN, N.T., KAMPRATH, E.J. e WEED, S.B. 1958. Liming. *Adv. Agron.*, 10:475-522.
- FASSBENDER, H.W. 1966. Formas de los fosfatos en algunos suelos de la zona oriental de la Meseta Central y 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.; 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.
- 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.
- FOY, C.D. e BROWN, J.C. 1963. Toxic factors in acid soils. I. Characterization of aluminium toxicity in cotton. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, 27:403-407.
- FRIED, M. e R.E. SHAPIRO. 1960. Soil-Plant relations in phosphorus uptake. *Soil Science*, 90(1):69-76.

- GRANT, W. 1975. The relations between organic matter content and exchangeable aluminum in acid soil. Proceedings of Soil Science Society of America, 39(3): 591.
- 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.
- HAYNES, R.J. 1982. Effects of liming on phosphate availability in acid soil. Plant and Soil, 68(3):289-308.
- HEMWALL, J. 1957. The fixation of phosphorus by soils. Advances in Agronomy, IX:95-112.
- 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.
- JACKSON, M.L. 1970. Análisis químico de suelos. OMEGA. 2ª 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 Ceará: bases para a utilização agropecuária. 333-347.
- KUO, S. and E.G. LOTSE. 1974. Kinetics of phosphate adsorption and desorption by hematite and gibbsite. Soil Science, 116(6):400-406.

- LANCE, J.C. e PEARSON, R.W. 1969. Effect of low concentrations of aluminium on growth and water nutrient uptake by cotton roots. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 33:95-98.
- LARSEN, S. 1967. Soil phosphorus. Adv. Agron. 19:151-207.
- 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):416-452.
- 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.
- MALAVOLTA, E. 1981. Manual de química agrícola: adubos e adubação. Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo. 3a. ed.
- MATTIAZZO, P.M. 1979. 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.
- MENGEL, D. e E.A. KIRKBY. 1982. Principles of plant nutrition. Internacional Potash Institute. 3a. ed.
- 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.
- MULJADI, D.; POSNER, A.M. e J.P. QUIRK. 1966. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite

- and pseudoboehmite. 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.
- 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 experiment. *Proceedings of Soil Science Society of America*. 12:113-123.
- NEPTUNE, A.M.L. 1975. Aplicação de calcário em culturas forrageiras. In: *Anais do 2º Simpósio sobre Manejo da Pastagem*. ESALQ- Piracicaba, SP.
- NEPTUNE, A.M.L. 1976. O fósforo no solo. In: *Curso de Nutrição de Plantas, Fertilidade do Solo e Adubação*. USP-ESALQ. Ministério da Agricultura. Pag. 157-187.
- OTTABONG, E. 1981. Immobilization and mobilization of phosphorus status of calcium and soil acidity in two peats incubated without and lime. *Acta Agric. Scandínávica*, 31(2):123-131. In: *Fertilizer and Agriculture*, setembro 1982., nº 83, p. 60.
- 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. 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.
- 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.
- RUSSEL, S.R.; RUSSELL, E.W. e P.G. MORAIS. 1958. Factors effecting 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.
- SARRUGE, J.R. e H.P. HAAG. 1974. Análisis químicos em plantas. Livroceres Ltda. Piracicaba-São Paulo.
- SERPA, R.V. e E. BORNEMISZA. 1982. Influência del manejo de dos 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 Indian Society Soil Science, 28(4):450-453. In: Phosphorus in Agriculture 1982, nº 82, p. 46.
- 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 So-

- ciety of America, 32(1):91-94.
- SOUZA, E.A.C. e NEPTUNE, A.M.L. 1979. Efeitos da granulometria de calcário dolomítico sobre as propriedades químicas de um Latossolo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 3:120-125.
- 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.
- VIEIRA, L.S. e E. BORNEMISZA. 1968. Categorías de Fósforo en los principales grandes grupos de suelos en la Amazonia de Brasil. Turrialba, 18(3): 242-248.
- 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.
- 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 of Soil Science Society of America, 45(3): 540-543.