

ESTUDOS AGRÍCOLAS SOBRE O APROVEITAMENTO DO FOSFATO DE ARAXÁ PARCIALMENTE SOLUBILIZADO

LUIZA HITOMI IGARASHI NAKAYAMA

Orientador: Prof. Dr. EURIPEDES MALAVOLTA

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Setembro, 1982

A meus pais,

OFEREÇO.

A Kazuiyuki,

Linus e Marcel,

pela compreensão,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Euripedes Malavolta, pela orientação se
gura e apoio prestado durante todo o transcorrer do trabalho.

Aos colegas E. Lima, I.E. Eimori, G.C. Vitti, pelo
auxílio, amizade e consideração.

Aos colegas A.Q. da Silva, H. Silva e P.T.G. Guima-
rães, pelas sugestões, amizade e consideração.

Ao colega J.N. Barreto, pelo auxílio nas análises es
tatísticas, amizade e consideração.

Aos Drs. A.L.M. Neptune, J.C. Alcarde, H.P. Haag e
F.J. Krug, pelos empréstimos de laboratório e equipamentos.

Ao Sr. L.C. Veríssimo, pela dedicação, amizade e con
sideração.

À Srta. Maria Izalina Ferreira Alves, pela datilogra-
fia e dedicação.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz",
pelo aperfeiçoamento concedido.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Pau-
lo (FAPESP), pela bolsa de estudo concedida.

À ARAFÉRTIL Fertilizantes S.A., pelo suporte financi
ro concedido.

Í N D I C E

	Pág.
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE FIGURAS	
RESUMO	
SUMMARY	
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
3. MATERIAIS E MÉTODOS	13
3.1 - Ensaio em Casa de Vegetação	13
3.1.1 - Solo utilizado	13
3.1.2 - Culturas	14
3.1.3 - Tratamentos	14
3.1.4 - Delineamento experimental	16
3.1.5 - Condução do ensaio	16
3.1.5.1 - Calagem e incubação do solo	16
3.1.5.2 - Adubação básica	17
3.1.5.3 - Adubação fosfatada	17
3.1.5.4 - Plantio	17
3.1.5.5 - Colheita	18
3.2 - Ensaio em Laboratório	19
3.2.1 - Análise dos fosfatos	19
3.2.2 - Análise de plantas	20
3.2.3 - Análise de solo	20

	Pág.
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 - Solubilidade dos Fosfatos	21
4.2 - Ensaio com Sorgo	26
4.2.1 - Solo Anhembi	26
4.2.1.1 - Primeiro cultivo	26
4.2.1.2 - Segundo cultivo	32
4.2.1.3 - Terceiro cultivo	33
4.2.1.4 - Eficiência relativa	35
4.2.1.5 - Análise de solo	38
4.2.2 - Solo Botucatu	42
4.2.2.1 - Primeiro cultivo	42
4.2.2.2 - Segundo cultivo	45
4.2.2.3 - Terceiro cultivo	49
4.2.2.4 - Eficiência relativa	50
4.2.2.5 - Análise de solo	50
4.3 - Ensaio com Feijão	56
4.3.1 - Solo Anhembi	56
4.3.1.1 - Primeiro cultivo	56
4.3.1.2 - Segundo cultivo	59
4.3.1.3 - Terceiro cultivo	63
4.3.1.4 - Eficiência relativa	64
4.3.1.5 - Análise de solo	68

	Pág.
4.3.2 - Solo Botucatu	71
4.3.2.1 - Primeiro cultivo	71
4.3.2.2 - Segundo cultivo	75
4.3.2.3 - Terceiro cultivo	77
4.3.2.4 - Eficiência relativa	79
4.3.2.5 - Análise de solo	82
5. RESUMO E CONCLUSÕES	85
6. LITERATURA CITADA	91

LISTA DE TABELAS

TABELA		Pág.
1	Principais características do solo, antes da aplicação dos tratamentos	14
2	Tratamentos utilizados para cada solo e espécie vegetal	15
3	Identificação das amostras utilizadas na análise de solubilidade	19
4	Teor porcentual do fósforo nas diversas frações das amostras de fertilizantes	21
5	Teores de P_2O_5 , CaO e SO_4 solúveis em água dos materiais fosfatados em três relações de peso do material fosfatado e volume da solução extratora	23
6	Resultados analíticos das características químicas dos adubos em função de diferentes extratores e relações	24
7	Efeito de fontes de fósforo na produção de matéria seca (g/vaso) da planta de sorgo sacarino, cv. Brandes, conduzido em casa de vegetação, utilizando LVA de Anhembi. Média de quatro repetições	27
8	Efeito de fontes de fósforo sobre as quantidades de fósforo (mg/vaso) absorvido pela planta de sorgo sacarino, cv. Brandes, cultivado em LVA de Anhembi ..	28

TABELA		Pág.
9	Efeito de fontes de fósforo sobre as quantidades de cálcio (mg/vaso) absorvido pela planta de sorgo sacarino, cv. Brandes, cultivado em LVA de Anhembi ..	30
10	Efeito de fontes de fósforo sobre as quantidades de enxofre (mg/vaso) absorvido pela planta de sorgo sacarino, cv. Brandes, cultivado em LVA de Anhembi ..	31
11	Valor de pH (H ₂ O) e teor de fósforo (µg/ml) no solo, determinado pelo método de Olsen, após o cultivo do sorgo sacarino, cv. Brandes, em LVA de Anhembi	39
12	Quantidades de formas de P (µg/ml) encontradas no LVA de Anhembi, cultivado com sorgo sacarino na presença e ausência de calagem. Terceiro cultivo (média de duas repetições)	41
13	Efeito de fontes de fósforo na produção de matéria seca (g/vaso) da planta de sorgo sacarino, cv. Brandes, conduzidos em casa de vegetação, utilizando LE de Botucatu. Média de quatro repetições	43
14	Efeito de fontes de fósforo sobre as quantidades de fósforo (mg/vaso) absorvido pela planta de sorgo sacarino, cv. Brandes, cultivado em LE de Botucatu ..	44
15	Efeito de fontes de fósforo sobre as quantidades de cálcio (mg/vaso) absorvido pela planta de sorgo <u>sac</u> arino, cv. Brandes, cultivado em um LE de Botucatu ..	46

TABELA

Pág.

16	Efeito de fontes de fósforo sobre as quantidades de enxofre (mg/vaso) absorvidas pelas plantas de sorgo sacarino, cv. Brandes, cultivado em um LE de Botucatu	47
17	Valor de pH (H ₂ O) e teor de fósforo (µg/ml) no solo, determinado pelo método de Olsen, após o cultivo de sorgo sacarino, cv. Brandes, em LE de Botucatu	53
18	Quantidades de formas de P (µg/ml) encontradas no LE de Botucatu, cultivado com sorgo sacarino na presença e ausência de calagem. Terceiro cultivo (média de duas repetições)	55
19	Efeito de fontes de fósforo na produção de matéria seca (g/vaso) da planta de feijão, cv. Carioca, conduzido em casa de vegetação, utilizando LVA de Anhembi. Média de quatro repetições	57
20	Efeito de fontes de fósforo (mg/vaso) absorvido pela planta de feijão, cv. Carioca, cultivado em um LVA de Anhembi	58
21	Efeito de fontes de cálcio (mg/vaso) absorvido pela planta de feijão, cv. Carioca, cultivado em um LVA de Anhembi	60

TABELA

Pág.

22	Efeito de fontes de enxofre (mg/vaso) absorvido pela planta de feijão, cv. Carioca, cultivado em um LVA de Anhembi	61
23	Valor de pH (H ₂ O) e teor de fósforo (µg/ml no solo, determinado pelo método de Olsen, após o cultivo do feijão, cv. Carioca, em LVA de Anhembi	69
24	Quantidades de formas de P (µg/ml), encontradas no LVA de Anhembi, cultivado com feijão, na presença e ausência de calagem. Terceiro cultivo (média de duas repetições)	70
25	Efeito de fontes de fósforo na produção de matéria seca (g/vaso) pela planta de feijão, cv. Carioca, conduzido em casa de vegetação, utilizando LE de Botucatu. Média de quatro repetições	72
26	Efeito de fontes de fósforo sobre as quantidades de fósforo (mg/vaso), absorvido pelas plantas de feijão, cv. Carioca, cultivado em um LE de Botucatu	73
27	Efeito de fontes de fósforo sobre as quantidades de cálcio (mg/vaso), absorvido pelas plantas de feijão, cv. Carioca, cultivado em um LE de Botucatu	74

TABELA

Pág.

28	Efeito de fontes de fósforo sobre as quantidades de enxofre (mg/vaso), absorvido pelas plantas de feijão cv. Carioca, cultivado em um LE de Botucatu	76
29	Valor de pH (H ₂ O) e teor de fósforo (µg/ml) no solo, determinado pelo método de Olsen, após o cultivo do feijão, cv. Carioca, em LE de Botucatu	83
30	Quantidades de formas de P (µg/ml) encontradas no LE de Botucatu, cultivado com feijão na presença e ausência de calagem. Terceiro cultivo (média de duas repetições)	84

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Pág.
1	Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no LVA de Anhembi, sem calagem, considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato simples em pó igual a 100 em cada cultivo	36
2	Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no LVA de Anhembi, com calagem, considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato simples igual a 100 em cada cultivo	37
3	Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no solo de Botucatu, sem calagem, considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato simples igual a 100 em cada cultivo	51
4	Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no solo de Botucatu, sem calagem, considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato simples igual a 100 em cada cultivo	52
5	Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no solo de Anhembi, sem calagem, considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato simples igual a 100 em cada cultivo	65

FIGURA		Pág.
6	Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no solo de Anhembi, com calagem, considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato <u>sim</u> <u>ples</u> em p \bar{o} , igual a 100 em cada cultivo	67
7	Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no solo de Botucatu, sem calagem, considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato <u>sim</u> <u>ples</u> em p \bar{o} igual a 100 em cada cultivo	80
8	Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no solo de Botucatu, com calagem, considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato <u>sim</u> <u>ples</u> em p \bar{o} igual a 100 em cada cultivo	81.

ESTUDOS AGRÍCOLAS SOBRE O APROVEITAMENTO DO FOSFATO
DE ARAXÁ PARCIALMENTE SOLUBILIZADO

Autora: Luiza Hitomi Igarashi Nakayama

Orientador: Prof. Dr. Euripedes Malavolta

R E S U M O

Os objetivos deste trabalho foram: verificar o aproveitamento do fosfato de Araxá parcialmente solubilizado (FAPS) quanto à sua capacidade de fornecer fósforo e cálcio às plantas em comparação com o superfosfato simples (SS); estudar a sua solubilidade em extratores empregados na análise de fosfatos; avaliar o efeito residual do FAPS e do SS. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação com três cultivos sucessivos, os fosfatos foram aplicadados como superfosfato simples em pó e granulado, fosfato de Araxá parcialmente solubilizado em três granulometria, fosfato de Araxá (FA) e fosfato de Gafsa (FG) na dose de 200 ppm de P total por vaso, com 3,0 kg de solo de cerrado, a saber: de Anhembi (LVA) e de Botucatu (LE), em presença e ausência de calagem.

Nos adubos fosfatados (FAPS, fosfato de Araxá e de

Gafsa) foram determinados: P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2%; P_2O_5 solúvel em citrato de amônio pH = 7,0; P_2O_5 solúvel em citrato de amônio pH = 3,0; P_2O_5 solúvel em água + solução citrato de amônio pH = 7,0; P_2O_5 solúvel em água + solução de citrato de amônio pH = 3,0; cálcio solúvel em água e enxofre solúvel em água; usaram-se as relações 1:100, 1:300 e 1:500. E também o P total e o P solúvel em água.

Após cada cultivo determinaram-se: a produção de matéria seca; as quantidades de P, Ca e S absorvidas pelas plantas de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. Brandes e de feijão (*Phaseolus vulgaris* (L.)) cv. Carioca. No fim de cada cultivo coletava-se amostra de terra para determinar pH (H_2O), P disponível em $NaHCO_3$ 0,5M pH = 8,5 e formas de P no solo, através do fracionamento.

Os dados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

a) Eficiência Relativa

Não se considerando o tipo de solo, calagem e a cultura empregada e nem a granulometria dos FAPS, obtiveram-se as seguintes eficiências relativas médias:

$$SS = 100$$

$$FAPS = 84,79$$

$$FG = 112,91$$

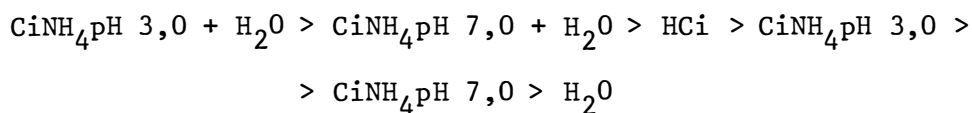
$$FA = 44,86$$

De maneira geral, pois, a eficiência dos FAPS é pouco menor quando comparada aos superfosfatos e fosfato de Gafsa, mas bem superior à do fosfato de Araxá.

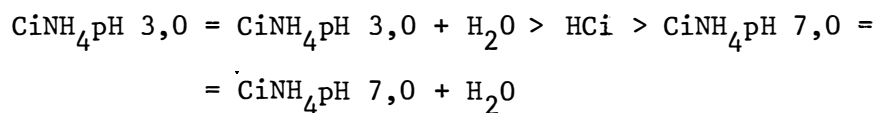
b) Solubilidade

b.1) Solubilidade das fontes, utilizando os seguintes extratores: Água (H_2O); Ácido cítrico 2% (HCl); Citrato de Amônio pH 3,0 ($CiNH_4pH\ 3,0$); Citrato de Amônio pH 7,0 ($CiNH_4pH\ 7,0$); Citrato de amônio pH 3,0 + Água ($CiNH_4pH\ 3,0 + H_2O$); Citrato de Amônio pH 7,0 + Água ($CiNH_4pH\ 7,0 + H_2O$), encontram-se abaixo:

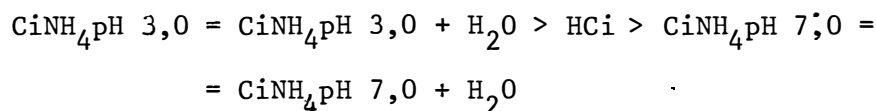
FAPS:



Fosfato de Araxá (FA):



Fosfato de Gafsa (FG):



b.2) Quantidade de P extraída na relação 1:100:

$$\text{H}_2\text{O}: \text{FAPS} \gg \text{FA} = \text{FG}$$

$$\text{HCl}: \text{FG} > \text{FAPS} > \text{FA}$$

$$\text{CiNH}_4 \text{ pH } 7,0: \text{FAPS} = \text{FG} > \text{FA}$$

$$\text{CiNH}_4 \text{ pH } 3,0: \text{FG} > \text{FA} > \text{FAPS}$$

$$\text{CiNH}_4 \text{ pH } 7,0 + \text{H}_2\text{O}: \text{FAPS} > \text{FG} > \text{FA}$$

$$\text{CiNH}_4 \text{ pH } 3,0 + \text{H}_2\text{O}: \text{FG} > \text{FAPS} > \text{FA}$$

c) Relação entre Solubilidade e Eficiência Relativa Média

Considerando-se a eficiência relativa média calculada anteriormente e as quantidades de P dissolvidas pelos diferentes extratores, verifica-se que a melhor diferenciação entre as fontes foi dada pelos extratores ácido cítrico 2% e solução de citrato de amônio pH 3,0 + água, para os dois tipos de solos e cultura.

d) Destino do P das Diferentes Fontes

d.1) Fracionamento

Para os tratamentos testemunha, superfosfato simples em pó e granulado, houve uniformidade na sequência da distribuição das diferentes frações de P no solo de Anhembi e de Botucatu com sorgo, independentemente da calagem: $\text{P-Fe} > \text{P-Al} > \text{P solúvel em } \text{NH}_4\text{Cl} > \text{P-Ca}$. Enquanto que no tratamento com fosfato de Araxá ocorreu uma

inversão do P-Ca pelo P-Fe, que passou a ser maior na presença de calagem: P-Ca > P-Fe > P-Al > P solúvel em NH_4Cl . Os FAPS tiveram a seguinte sequência independente da calagem: P-Fe > P-Al > P-Ca > P solúvel em NH_4Cl , enquanto que para o fosfato de Gafsa sem calagem houve inversão: o P solúvel em NH_4Cl passou a ser maior que o P-Ca, onde a concentração de H^+ da solução está favorecendo a solubilização do fosfato.

Utilizando plantas de feijão no solo de Anhembi, verifica-se para os tratamentos testemunha, superfosfatos simples em pó e granulado que predominaram as frações de P-Fe e P-Al sobre as demais, independente da correção do solo. No fosfato de Araxá, tem-se: P-Ca > P-Fe > P-Al > P solúvel em NH_4Cl , também independente da calagem. Nos tratamentos utilizando-se FAPS com calagem, houve apenas uma inversão passando o P-Ca a ser maior que o P-Al: P-Fe > P-Ca > P-Al > P solúvel NH_4Cl , o mesmo acontecendo no solo de Botucatu com estas fontes. No caso do fosfato de Araxá tem-se P-Fe > P-Ca > P-Al > P solúvel em NH_4Cl , independente da calagem, enquanto que nos demais tratamentos predominaram P-Fe sobre P-Al.

Em resumo, pode-se dizer, pois, que o FAPS teve um comportamento mais semelhante ao do superfosfato simples que do fosfato de Araxá.

d.2) P disponível residual

Os teores de P disponível (solubilidade em NaHCO_3 0,5 M pH 8,5) encontrados no fim do experimento sugeriram que as diferentes fontes têm um efeito residual obedecendo à seguinte ordem:

Solo Anhembi:

Sem calagem: SS > FG > FAPS > FA

Com calagem: SS > FAPS > FG > FA

Solo Botucatu:

Sem calagem: SS > FAPS > FG > FA

Com calagem: SS > FAPS > FG > FA

e) Comportamento do FAPS

Os dados de produção de matéria seca, da análise das plantas e dos solos, mostraram que o FAPS como fonte de P teve um comportamento geral mais próximo daquele do SS que daquele do FA que lhe deu origem.

STUDIES ON THE AGRICULTURAL EFFICIENCY OF
PARTIALLY ACIDULATED ARAXÁ ROCK PHOSPHATE

Author: Luíza Hitomi Igarashi Nakayama

Adviser: Prof. Dr. Euripedes Malavolta

S U M M A R Y

The aims of the experiments dealt with in this dissertation were: (1) the evaluation of the relative efficiency of a partially acidulated rock phosphate (FAPS) prepared by treating rock phosphate from Araxá, MG, Brazil, with sulfuric acid; simple superphosphate (SS) and ground rock phosphates from Araxá (FA) and from Gafsa (FG) were used for comparison; (2) the establishment of a relationship between the solubility in several extracting relations of FAPS with its P - supplying capacity.

Pot experiments were carried out in the greenhouse, using two "cerrado" soils, both latossols, one from Anhembi, SP, Brazil, and the other one from Botucatu, SP, Brazil. The different P-sources were supplied in the presence, and in the absence of liming.

Three successive crops of sweet sorghum and bean were used.

The solubility of FAPS, FA and FG was evaluated through the utilization of the following extracting solutions: 2% citric acid (HCl), ammonium citrate pH 7 (NH_4Cl pH 7), ammonium citrate pH 3 (NH_4Cl pH 3) and water.

Soil and plant analyses were made after each crop, and after the third one a fractionation of the residual P was also made.

The main conclusions were the following:

(1) The relative efficiency of the various P sources was affected, by species, crop, soil and liming treatment.

(2) The average efficiency was:

$$\text{SS} = 100$$

$$\text{FAPS} = 85$$

$$\text{FA} = 45$$

$$\text{FG} = 113$$

(3) The solubility of FAPS in water and in CiNH_4 pH 7 + H_2O was higher than that of FG and FA; in HCl and in CiNH_4 pH 3,0 and CiNH_4 pH 3,0 + H_2O , however, FG was more soluble than FAPS; the first two sources showed the same degree of solubility in CiNH_4 pH 7.

(4) The relative efficiency of FAPS, FA and FG kept a better relationship with their solubility in HCl, and CiNH_4 pH 3,0 + H_2O than in the other extractants.

(5) As a rule the larger fractions of residual P were Fe-phosphates and Al-phosphates, in this order; in the case of Fa as a P source, however, Ca phosphate was the main fraction determined in the fractionation procedure.

(6) FAPS in terms of solubility, effect of yield and fate of P showed a behaviour very close to of SS than to that the original FA.

1. INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros, em geral, são deficientes em fósforo disponível para plantas e, para corrigir esta deficiência, anualmente são utilizadas grandes quantidades de adubos fosfatados solúveis, principalmente.

As necessidades das plantas em fósforo são relativamente pequenas em comparação com as de nitrogênio e potássio (MALAVOLTA, 1976). Entretanto, nas adubações, o fósforo é utilizado em maior quantidade que N ou K. O fósforo contido no adubo se "fixa" no solo, convertendo-se em formas não totalmente aproveitáveis pela planta e isso faz com que, dependendo das características do solo, da planta, e de outros fatores, apenas 5-20% sejam absorvidos pelas culturas no ano de aplicação. A "fixação do fósforo em solos ácidos

se deve principalmente à alta reatividade dos óxidos de ferro e de alumínio (ANÔNIMO, 1979).

Quanto à tecnologia de produção do fertilizante fosfatado no país, espera-se em 1983, uma participação global dos seguintes adubos: superfosfato simples 19%; superfosfato triplo 40%; fosfato de amônio 37% e outros 4%. ANDA (1978) informa que o superfosfato triplo e os fosfatos de amônio participarão em conjunto com quase 80% da produção total, e em escala crescente, havendo uma menor oferta de superfosfato simples. Com isso aumenta a possibilidade de falta de enxofre para as culturas, visto que as produções de sulfato de amônio, e outras fontes de enxofre, também não deverão crescer.

Para 1985 estima-se a importação de enxofre (S) para a fabricação de fertilizantes em $1,5 \times 10^6$ t/ano, sendo que 4/5 desse enxofre estarão no gesso, subproduto da fabricação do superfosfato triplo e dos fosfatos de amônio. O S importado custará cerca de 225 milhões de dólares anuais de divisas (LIMA, 1979).

A rocha fosfatada brasileira, geralmente do tipo apatita, contém baixo teor de P_2O_5 total, exigindo uma concentração prévia antes da sua solubilização pelo ácido sulfúrico. Surge daí a alternativa para economizar enxofre e melhorar o aproveitamento da rocha fosfatada através da acidulação parcial. Em princípio a solubilização parcial por ácidos daria um produto que oferece possibilidade de utilização como fonte de fósforo e de enxofre.

O presente trabalho foi feito com os objetivos de: dar maiores informações e fornecer subsídios sobre a solubilidade do fosfato de Araxá parcialmente solubilizado (FAPS) em diferentes extratores químicos; verificar o aproveitamento do FAPS como fonte de fósforo em comparação com o superfosfato simples, utilizando plantas de feijão e sorgo; avaliar o efeito residual do FAPS e superfosfato simples quanto ao tipo de solo e calagem em condições de casa de vegetação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Qualquer que seja a forma em que o fósforo apareça nos fertilizantes, a planta somente o absorve quando estiver como ion $H_2PO_4^-$ (MALAVOLTA *et alii*, 1979). A diferença entre as necessidades de fósforo e as quantidades aplicadas se explica pela baixa recuperação do fósforo pela planta, em torno de 10% (LARSEN, 1967). Esta baixa recuperação de fósforo adicionado ao solo como adubo, bem como sua variação, estão relacionados com as reações em que o fósforo participa no solo.

O fósforo adicionado no solo na forma de fertilizantes, assim como o fósforo nativo, são envolvidos por reações que o tornam pouco disponível para as plantas (VOLKWEISS e RAIJ, 1976), e a maior parte do fósforo passa para a fase sólida, onde fica em parte como fosfato lábil, que gradativamente passa a fosfato não lábil

(RAIJ, 1981). Para que o fósforo da solução aumente, há necessidade de diminuir as reações no solo através de aplicações de calcários, matéria orgânica e silicatos (LARSEN, 1973), pelo uso da adubação corretiva e de adubos solúveis granulados localizados junto à planta. Dessa forma, o fósforo da solução do solo pode chegar por difusão até à zona de absorção das raízes (OLSEN *et alii*, 1962).

Basicamente, os adubos fosfatados diferenciam-se de acordo com sua solubilidade em água, em solúveis, assimiláveis pouco solúveis e inssolúveis de assimilação lenta (MALAVOLTA, 1981), sendo os mais comuns os superfosfatos, fosfatos de amônio, termofosfatos e fosfatos naturais.

Os fosfatos naturais são fontes relativamente baratas de P, podendo ser utilizados diretamente como fertilizantes. Contudo, a eficiência desses materiais é muito variável; o seu aproveitamento está ligado à sua solubilidade, grau de moagem, pH do solo, teor de cálcio e fósforo do solo e modo de aplicação (BRAGA, 1970).

Dentre as jazidas de fosfatos naturais brasileiras em exploração, salienta-se, em termos de reservas, a de Araxá. Os testes tecnológicos indicam tratar-se de fosfato de origem ígnea, contendo fluorapatita bem definida, praticamente pura como constituinte majoritário; e o teor de P_2O_5 é mais baixo, devido ao efeito de diluição do mineral acessório, a barita (8,7%), apresentando, ainda, quantidades consideráveis de ferro (2,4% Fe_2O_3) (CEFER, 1979).

Estudo sobre eficiência do fosfato de Araxá tem sido

conduzido por BRAGA (1970) e enfatizado em MALAVOLTA (1976). Os estudos experimentais sobre o uso deste fosfato mostram a sua eficiência relativa, principalmente para adubação de correção. Em vista disso, procura-se, através de tratamento com ácidos, aumentar a solubilidade do material, visando a liberação imediata de fósforo para as plantas e baratear os custos de produção.

FRANCO *et alii* (1979), trabalhando com fosfato de Araxá acidulado a 5, 15 e 25%, com H_2SO_4 , verificou um aumento na produção de matéria seca do sorgo sacarino com a elevação do nível de acidificação e das doses. Nos níveis e doses mais elevados, as produções igualaram-se às obtidas com superfosfato triplo.

Através de comparação dos fosfatos de Patos de Minas acidulados a 25, 50 e 100%, com H_3PO_4 , FERREIRA e KAMINSKI (1979) observaram que o material acidulado a 25% apresentou uma eficiência equivalente ao do natural no solo laterítico, mas, a partir do nível 50% de acidulação, mostrou-se equivalente ao superfosfato triplo em pó nos dois solos testados.

BARRETO (1977) conclui que o fosfato Patos de Minas acidulado com H_3PO_4 teve a sua eficiência aumentada proporcionalmente ao nível de acidulação, devido à provável presença de P_2O_5 solúvel do ácido fosfórico.

LEON e FENSTER (1980), utilizando o fosfato da Flórida em forma de pó e microgranulo acidulado a 20%, com H_2SO_4 , observaram que a dose de 100 kg de P_2O_5 /ha promoveu aumento no rendimento

to de grão de arroz Cica 8, isto quando comparado com o fosfato não acidulado, e a minigranulação favoreceu ainda mais este efeito, enquanto que, na dose de 200 kg de P_2O_5 /ha, o fosfato acidulado superou o superfosfato triplo, independente do tamanho do grânulo. Os mesmos autores, trabalhando com diferentes granulometrias do fosfato da Flórida acidulado, verificaram que na máxima dose de 200 kg de P_2O_5 /ha, o grânulo regular evidenciou-se superior aos demais e teve o mesmo comportamento do superfosfato triplo na produção de *Panicum maximum*.

MOKWUNYE e CHIEN (1979), comparando fontes de fósforo, superfosfato triplo (TSP) e rocha fosfatada acidulada a 20% (PARP), observaram que houve maior extração do P solúvel em água no solo tratado com PARP do que o TSP. A eficiência do PARP foi mais alta no oxisol, que teve uma alta capacidade de adsorção de P. Supõe-se que a hidrólise do fosfato monocálcico no grânulo do PARP poderá resultar em outra acidulação da rocha não tratada do PARP e em liberação adicional do P extraível em água.

HAMMOND *et alii* (1980) encontrou uma alta correlação na resposta da planta de milho e absorção de P com a solubilidade do produto em água. A eficiência agrônômica relativa da rocha de Togo e de Pesca aumentou de 3% quando não acidulada para 33%, 47% e 52% quando se utilizou H_2SO_4 a 20%, 30% e 40%, respectivamente, mas para a rocha de Pesca acidulada a 20%, com H_3PO_4 foi 50-76% tão eficiente quanto o superfosfato triplo em único cultivo e 79-90% para três cultivos, mostrando um alto valor residual.

McLEAN e WHELLER (1964) observaram, em experimento de casa de vegetação, que a produção e o conteúdo de P em milheto (*Setaria italica*) e alfafa (*Medicago sativa* L.) foram aproximadamente os mesmos para as rochas fosfatadas aciduladas a 10 e 100%.

LUTZ (1971) relatou que em experimentos de campo com milho (*Zea mays* L.), a rocha fosfatada acidulada a 100% foi superior à rocha acidulada a 20%, na mais alta dose de P, enquanto que a rocha acidulada a 20% foi a fonte de fósforo mais econômica.

Muitos pesquisadores têm realizado esforços para economizar no custo da adubação fosfatada utilizando combinação do material fosfatado na forma solúvel e insolúvel, ou pelo menor uso de ácido que é exigido para converter todo o fosfato da rocha fosfatada para fosfato monocálcico. Entretanto, a mistura de quantidade apreciáveis do fosfato solúvel com a forma insolúvel resulta na diminuição da disponibilidade do fosfato menos solúvel. TERMAN e ALLEN (1967) informaram que, em um solo fortemente deficiente em fósforo, ou em um solo que fixa rapidamente o fósforo, as produções aumentaram com aumento da acidulação ou conteúdo de fósforo solúvel em água. LUTZ (1973), comparando a rocha fosfatada acidulada a 20% e 100%, verificaram equivalência entre os materiais utilizados.

Quanto à solubilização dos fosfatos naturais no solo KAMPRATH, 1976; MASCARENHAS *et alii* 1978; GOEDERT e LOBATO, 1980 reconhecem que os fosfatos naturais apatíticos são mais eficientes em solos ácidos.

Contudo, a produtividade das culturas em solos ácidos depende da correção da acidez através da aplicação de calcário. O calcário, além de elevar o pH do solo adiciona ions Ca^{++} à solução do solo e consequentemente este aumento tende a solubilizar mais lentamente os fatos naturais.

CANTARUTTI *et alii* (1981) testaram três fontes de fofato natural em diferentes épocas de aplicação, e observaram que a maior eficiência agronômica do fofato de Araxá ocorreu quando essa fonte foi aplicada 30 dias antes do material corretivo e que a acidez do solo exerceu efeito solubilizador sobre essas fontes, enquanto que NOVAIS *et alii* (1980) verificaram um decréscimo acentuado na eficiência do fofato de Araxá como fonte de P para as plantas, quando aumentou o tempo de incubação. Experimentos conduzidos no CPAC (1979) fornecem a comparação da efetividade do fofato de Araxá em relação ao superfosfato simples, informando que no início a relação é pequena (20,7%), e que a partir do 12º corte de *Brachia-ria decumbens* esta relação aumentou para 49,7%, sugerindo que o aumento se deve à solubilidade gradual da fonte com o tempo de cultivo.

GOEDERT e LOBATO (1980) encontraram uma baixa eficiência agronômica do fofato de Araxá, preconizando o uso desta em adubação corretiva apenas.

As formas de fósforo que são solúveis em água tem sido analisadas e interpretadas, sob o ponto de vista agronômico, a

conteúdo em condições de laboratório (ALCARDE *et alii*, 1975). Entretanto, o mesmo não tem acontecido com as formas de fósforo insolúveis em água. As técnicas comumente empregadas para interpretar o valor agrônomo dessas formas são baseadas na solubilidade em solução de citrato de amônio ou em solução de ácido cítrico a 2% (JACOB e HILL, 1953; CATANI *et alii*, 1956; CATANI, 1970).

Até recentemente, as rochas fosfáticas eram consideradas como contendo o mesmo mineral fosfatado, fluorapatita, tal que diferenças na reatividade eram atribuídas às propriedades físicas, principalmente tamanho, partícula e área superficial. Os componentes das rochas fosfatadas apatíticas de origem sedimentar pertencem a uma série de carbonato-apatitas com diferentes graus de substituição iônicas do PO_4^{\equiv} por $\text{CO}_3^- + \text{F}^-$ ou $\text{CO}_3^- + \text{OH}^-$; F^- por Cl^- , CO_3^- ou OH^- e Ca^{++} por Na^+ ou Mg^{++} na estrutura da apatita, MALAVOLTA (1981). À medida que aumenta o grau de substituição isomórfica de uma apatita, principalmente de PO_4^{\equiv} por $\text{CO}_3^- + \text{F}^-$, aumenta a reatividade desta no solo e nos extratores orgânicos (CHIEN, 1977; ARMINGER e FRIED, 1957).

FRANCO (1977), trabalhando com o fosfato de Araxá acidulado a 5, 15 e 25%, com HCl e H_2SO_4 , observaram que, em geral, aumentando a percentagem de acidulação da rocha fosfatada resultou no aumento da quantidade de fósforo solúvel em água e ácido cítrico. SHINDE *et alii* (1978) também encontraram o mesmo resultado.

McLEAN e WHEELER (1964), utilizando rocha fosfatada acidulada a 10, 20, 50 e 100%, com H_3PO_4 , verificaram que o fósforo

total solúvel em água aumentou com o nível de acidulação, mas nos níveis 10 e 20% de acidulação o fósforo solúvel em citrato teve um ligeiro aumento, enquanto que nos níveis 50 e 100% houve um aumento considerável.

ASHBY *et alii* (1966) encontraram uma resposta inversa para o fósforo solúvel em citrato em relação ao aumento do nível de acidulação estudado.

Muitos trabalhos com extratores têm sido feitos com o objetivo de caracterizar as diferentes formas de fósforo no solo. Através desses estudos, surgiram vários extratores, contudo, deve-se a S.C. Chang e M.L. Jackson a elaboração de um método que permite a caracterização em operações sucessivas, das diversas formas inorgânicas de fósforo (PETERSEN e CORREY, 1966). Apesar da grande utilidade, não tem sido possível usar o fracionamento do fósforo inorgânico para caracterizar e separar com precisão as formas ligadas ao ferro e ao alumínio. Esta separação é de extrema importância para os solos tropicais, devido à predominância desses dois adsorventes nos nossos solos.

Os estudos sobre as formas de fósforo inorgânico têm mostrado que há predominância de determinadas formas sobre as outras, conforme a classe de solo. Assim, os solos jovens mostram predominância de fósforo ligado ao cálcio sobre as demais formas (HSU e JACKSON, 1960), ao passo que nos solos mais intemperizados predomina a forma de fósforo ligado ao ferro (HALSTEAD, 1967; HSU e JACK

SON, 1960).

O fracionamento das formas de P no solo tem interesse óbvio para se conhecer o destino do P_2O_5 aplicado como adubo e, a partir daí, avaliar-se o seu efeito residual.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação do Departamento de Química e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", e nos laboratórios do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA, Piracicaba, SP.

3.1 - Ensaio em Casa de Vegetação

3.1.1 - Solo utilizado

Foram coletadas amostras de terra de dois solos, anteriormente sob vegetação de cerrados, um Latossolo Vermelho Amarelo, textura média (Haplorthox) e um Latossolo Vermelho Escuro, textura média (Haplorthox). O primeiro é da localidade de Anhembi, e o segundo é de Botucatu, no Estado de São Paulo. Estas amostras da ca

mada superficial (0-20 cm) foram secas à sombra e peneiradas (em ma lhas de 5,0 mm). Os resultados das análises química e granulométrica estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais características do solo, antes da aplicação dos tratamentos.

SOLOS	pH H ₂ O	C %	Ca ⁺⁺ — e.mg/100 g Terra —	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	PO ₄ ⁻³ — µg/ml —	K ⁺	Granulometria		
									Areia	Limo	Argila
LVA (Anhembi)	5,3	0,72	1,20	0,56	0,60	3,60	4,0	104	73,2	11,2	15,6
LE (Botucatu)	5,0	0,48	0,60	0,20	0,94	3,36	3,0	44	82,5	4,3	13,2

3.1.2 - Culturas

As espécies vegetais utilizadas foram: sorgo sacarina, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, cultivar Brandes, e feijão, *Phaseolus vulgaris* (L.), cultivar Carioca.

3.1.3 - Tratamentos

Os tratamentos utilizados para cada espécie e tipo de solo encontram-se na Tabela 2. O fósforo foi incorporado ao solo na dose única de 200 ppm de P total por vaso, fornecido através de qua

tro fontes em presença e ausência de calagem, sendo uma solúvel em duas formas, o superfosfato simples pó (SSP) e o granulado (SSG), duas naturais, o fosfato de Araxá (FA) e o de Gafsa, o fosfato de Araxá parcialmente acidulado (FAPS) foi usado em três granulometrias. O tratamento 1 foi considerado como testemunha absoluta. As quantidades de adubos aplicados foram calculadas levando-se em conta o teor de P_2O_5 total dos mesmos.

Tabela 2 - Tratamentos utilizados para cada solo e espécie vegetal.

TRATAMENTO Nº	ADUBAÇÃO
1	Testemunha
2	Testemunha + Calagem
3	Superfosfato simples pó (SSP) + Macro e Micronutrientes
4	SSP + Calagem + Macro e Micronutrientes
5	Superfosfato simples granulado (SSG) + Macro e Micronutrientes
6	SSG + Calagem + Macro e Micronutrientes
7	FA + Macro e Micronutrientes
8	FA + Calagem + Macro e Micronutrientes
9	FAPS < 1 mm + Macro e Micronutrientes
10	FAPS < 1 mm + Calagem + Macro e Micronutrientes
11	FAPS 1-2 mm + Macro e Micronutrientes
12	FAPS 1-2 mm + Calagem + Macro e Micronutrientes
13	FAPS 2-3 mm + Macro e Micronutrientes
14	FAPS 2-3 mm + Calagem + Macro e Micronutrientes
15	Fosfato de Gafsa + Macro e Micronutrientes
16	Fosfato de Gafsa + Calagem + Macro e Micronutrientes

3.1.4 - Delineamento Experimental

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições.

3.1.5 - Condução do Ensaio

3.1.5.1 - Calagem e incubação do solo

Nos tratamentos que receberam a calagem, utilizou-se CaCO_3 pa como corretivo, em quantidades necessárias para elevar o pH próximo de 6,0, segundo metodologia descrita por CATANI e GALLO (1965).

Aplicou-se o calcário de forma mais uniforme possível às amostras de terra que, posteriormente foram espalhadas sobre um plástico, formando uma camada de 10 cm de espessura, onde se adicionou água destilada de forma a se obter um teor de umidade equivalente a 18 e 20% da capacidade de retenção de água, respectivamente, para o LVA e o LE. Cobriu-se com plástico as amostras que semanalmente eram revolvidas e, após dois meses de incubação, foram postos para secar, retirando-se pequena quantidade para se determinar o valor de pH.

3.1.5.2 - Adubação básica

Transferiram-se 3,0 kg de terra para vaso de barro previamente impermeabilizado com "Neutrol" no seu interior; para cada cultivo aplicou-se, em forma de solução, uma adubação básica de: 225 ppm de N, dividida em três aplicações, sendo 1/3 no plantio, 1/3 2-3 semanas após a germinação, e 1/3 2-3 semanas após a primeira cobertura, sempre na forma de NH_4NO_3 ; 100 ppm de K e 60 ppm de S, aplicados em duas épocas, sendo 40 ppm no plantio e 60 ppm 2-3 semanas após a germinação, como K_2SO_4 e 14 ppm de Mg ($\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) foram aplicados no plantio. Quanto aos micronutrientes, para cada cultivo, foram fornecidos, nas seguintes doses: B = 0,5 ppm como H_3BO_3 ; Cu = 1,0 ppm ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$); Mn = 2,5 ppm ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$); Mo = 0,2 ppm ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); Zn = 4 ppm como $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e Fe = 5 ppm (Fe-EDTA).

3.1.5.3 - Adubação fosfatada

Os adubos fosfatados foram incorporados à terra dos vasos, aplicando-se em seguida as soluções contendo N K S Mg e micronutrientes.

3.1.5.4 - Plantio

Em cada vaso adicionou-se água destilada, de modo a obter 2/3 do poder de embebição. A água perdida era restituída por meio de rega após a pesagem diária dos vasos. À medida que as plan-

tas foram crescendo, a água restituída era aumentada em quantidade segundo a aparência das plantas e o grau de umidade do solo.

Plantaram-se 8 sementes de sorgo sacarino e 10 sementes de feijão por vaso, e fizeram-se os desbastes logo após a germinação, deixando 2 plantas de sorgo e três plantas de feijão. As semeaduras dos três cultivos foi procedida, respectivamente, em 16/02/79, 17/07/79 e 03/11/79.

3.1.5.5 - Colheita

O sorgo foi colhido na fase de emborrachamento e o feijão no fim do ciclo. Quando necessário, coletavam-se as folhas velhas do feijão de forma a não ocorrer mistura e perda de material vegetal.

As plantas foram cortadas ao nível do solo e acondicionadas em saco de papel. Posteriormente, as raízes foram retiradas através de peneiramento. Em seguida, devolveu-se a terra ao respectivo vaso. As raízes foram lavadas com água de torneira e posteriormente com água destilada. Os materiais foram colocados para secar em estufas de circulação de ar forçado a 70°C, até atingir peso constante, pesadas e moídas para análise.

Após cada cultivo, retirava-se aproximadamente 125 g de terra de cada vaso, de modo a formar uma amostra composta para análise.

3.2 - Ensaio em Laboratório

3.2.1 - Análise dos fosfatos

Foram determinados em todos os materiais fosfatados os teores de: fósforo solúvel em água; fósforo total; fósforo solúvel em solução de ácido cítrico a 2%; fósforo solúvel em solução de citrato de amônio pH = 7,0; fósforo solúvel em solução de citrato de amônio pH = 3,0; fósforo solúvel em água + solução em citrato de amônio pH = 7,0; fósforo solúvel em água + solução em citrato de amônio pH = 3,0; cálcio solúvel em água e os de enxofre solúvel em água nas relações 1:100; 1:300 e 1:500, conforme métodos estabelecidos pela A.O.A.C. (1975). A identificação das amostras encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Identificação das amostras utilizadas na análise de solubilidade.

AMOSTRAS	IDENTIFICAÇÃO
1	FAPS - Fração entre 2-3 mm, analisada sem moagem.
2	FAPS - Fração entre 2-3 mm, analisada após moagem para passar em peneira nº 40.
3	FAPS - Fração entre 1-2 mm, analisada sem moagem.
4	FAPS - Fração entre 1-2 mm, analisada após moagem para passar em peneira nº 40.
5	FAPS - Fração menor que 1 mm, analisada sem moagem.
6	FAPS - Fração menor que 1 mm, analisada após moagem para passar em peneira nº 40.
7	FA - analisada sem moagem.
8	Fosfato de Gafsa.

3.2.2 - Análise de Plantas

As amostras moídas referentes a diferentes partes da planta foram submetidas a digestão nitroperclórica e, nos extratos obtidos foram determinados: fósforo, pelo método calorimétrico de vanadato-molibdato de amônio; cálcio, por espectrofotometria de chama; enxofre, por turbidimetria em fluxo contínuo (ZAGATTO *et alii*, 1981).

3.2.3 - Análise do Solo

Nas amostras de solo correspondentes aos três cultivos, determinaram-se o pH em água e o fósforo, utilizando como extrator NaHCO_3 0,5M, pH = 8,5 (OLSEN *et alii*, 1954). Após o terceiro cultivo foram determinadas as formas de P através do método de Chang e Jackson com modificação de PETERSEN e COREY (1966).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Solubilidade dos Fosfatos

O conteúdo de fósforo total e o solúvel em água, nas diferentes amostras, encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Teor porcentual do fósforo nas diferentes amostras de fertilizantes. (1.^a determinação).

AMOSTRAS	% P ₂ O ₅	
	Total	Solúvel em Água
FAPS 2-3 mm sem moagem	22,80	6,18
FAPS 2-3 mm após moagem	22,69	6,74
FAPS 1-2 mm sem moagem	24,06	7,62
FAPS 1-2 mm após moagem	23,88	7,53
FAPS < 1 mm sem moagem	25,82	9,48
FAPS < 1 mm após moagem	25,53	9,47
FA sem moagem	34,36	0,00
Fosfato de Gafsa	27,47	0,00

O teor de fósforo total e o solúvel em água, para os FAPS, não variaram quando se utilizaram amostras sem moagem ou após a moagem; o teor de fósforo solúvel em água aumentou com a menor granulometria; os resultados foram superiores ao encontrado por FRANCO (1972), 2,77% no nível máximo de acidificação.

Os teores de cálcio (CaO) e enxofre ($(SO_4^{=})$) solúveis em água dos FAPS, analisados sem moagem prévia, aumentaram inversamente com o tamanho de grânulo, enquanto que no material analisado após a moagem a solubilidade aumenta com a diminuição da relação de extração (Tabela 5). O teor de fósforo solúvel em água obtido na 2.^a determinação diminuiu devido a uma possível retrogradação do FAPS.

A Tabela 6 contém os teores de fósforo solúveis em vários extratores. Entre as fontes utilizadas, o fosfato de Gafsa foi o que apresentou o maior teor (27,16%) de fósforo solúvel em solução de ácido cítrico a 2%. O teor encontrado nas relações 1:100 e 1:500 concorda com o de PONCHIO (1978).

Para o fosfato de Araxá, o teor de P_2O_5 solúvel em solução de ácido cítrico a 2% aumentou linearmente com a diminuição da relação, enquanto que os FAPS apresentaram um comportamento intermediário entre eles, e tiveram a solubilidade aumentada com o grau de finura. ALCARDE (1978) sugere que a elevada solubilidade dos fosfatos naturais em solução de ácido cítrico a 2% se baseia na ação acidificante dessa solução e complexante das espécies iônicas do ácido cítrico em função do pH. O teor médio de fósforo dos FAPS, encontrado neste extrator, na relação 1:100, se compara com o obtido por FRANCO (1977) no nível máximo de acidificação.

Tabela 5 - Teores de P_2O_5 , CaO e SO_4 solúveis em água dos materiais fosfatados, em três relações de peso do material fosfatado e volume da solução extratora. (2.ª determinação).

AMOSTRAS	% de P_2O_5 solúvel em água			% de CaO solúvel em água			% de SO_4 solúvel em água		
	1:100	1:300	1:500	1:100	1:300	1:500	1:100	1:300	1:500
FAPS 2-3 mm sem moagem	4,27	5,39	5,76	2,03	3,38	3,91	1,72	3,56	4,01
FAPS 2-3 mm após moagem	5,94	6,46	6,43	9,67	13,88	14,41	13,33	19,83	22,28
FAPS 1-2 mm sem moagem	6,14	6,71	6,63	3,30	5,50	5,94	2,19	5,12	6,89
FAPS 1-2 mm após moagem	6,77	7,12	7,36	8,71	13,14	14,82	13,97	19,82	21,20
FAPS < 1 mm sem moagem	8,04	8,43	8,66	6,67	10,62	12,83	8,36	14,55	16,72
FAPS < 1 mm após moagem	7,99	8,37	8,60	8,95	11,77	14,38	10,92	17,30	19,61

Tabela 6 - Resultados analíticos das características químicas dos adubos em função de diferentes extratos e relações.

AMOSTRAS	% de P ₂ O ₅ solúvel em solução de ácido cítrico a 2%		% de P ₂ O ₅ em solução de citrato de amônio pH = 7,0		% de P ₂ O ₅ solúvel em solução de citrato de amônio pH = 3,0		% de P ₂ O ₅ em água + sol. em citrato de amônio pH = 7,0		% de P ₂ O ₅ sol. em água + sol. em citrato de amônio pH = 3,0						
	1:100	1:300	1:100	1:500	1:100	1:500	1:100	1:300	1:100	1:300					
1	7,63	9,18	9,65	6,17	6,34	6,92	6,81	9,25	11,41	12,35	12,52	13,10	12,99	15,43	17,59
2	8,73	10,04	11,68	6,14	6,61	6,61	7,15	11,38	13,06	12,88	13,35	13,35	13,89	18,12	19,80
3	9,16	10,21	11,17	6,20	5,98	6,20	6,39	10,94	11,12	13,82	13,60	13,82	14,01	18,56	18,74
4	9,41	11,15	12,14	6,48	6,33	6,64	7,45	11,74	13,66	14,01	13,86	14,17	14,99	19,27	21,19
5	10,89	13,67	13,56	5,97	6,43	6,37	6,67	10,45	12,76	15,45	15,91	15,85	16,15	19,93	22,24
6	10,66	12,30	13,93	5,92	5,98	6,70	6,78	10,95	12,91	15,39	15,45	16,17	16,25	20,42	22,38
7	4,83	11,00	15,48	2,12	3,67	5,77	9,33	18,63	24,11	2,12	3,67	5,77	9,33	18,63	24,11
8	12,11	24,59	27,16	6,13	14,38	21,29	20,46	27,47	27,47	6,13	14,38	21,29	20,46	27,47	27,47

Os teores de fósforo solúvel em solução de citrato de amônio pH = 7,0 foram similares para o FAPS em diferentes granulometrias, tratamentos (com e sem moagem prévia) e relações; para o fosfato de Araxá e de Gafsa, os teores aumentaram em função da diminuição da relação. Comparando os dados obtidos por PONCHIO (1978), com solução de citrato de amônio a pH = 3,0 e pH = 7,0 na relação 1:100, são observadas similaridades nos resultados. Mas passando a analisar o comportamento dos fosfatos de Araxá e de Gafsa, nas relações 1:300 e 1:500, em solução de citrato de amônio pH = 3,0 e pH = 7,0, verifica-se aumento nos teores de P_2O_5 nesses extratores. A possível explicação é que a qualidade do material fosfatado está relacionada à massa da amostra (g) que diminui com a relação de extração 1:100, 1:300 e 1:500. Por outro lado, o volume do extrator constante facilita o ataque do extrator nos sítios da rocha.

A Tabela 6 mostra os resultados de P extraído em água + solução de citrato de amônio. A água promove uma maior liberação do P da fonte de maior granulometria, mas mantém-se praticamente igual em todas as relações do citrato de amônio a pH = 7,0, enquanto que a pH = 3,0 a solubilidade aumentou com a relação material/extrator. ASHBY *et alii* (1966) encontraram uma alta correlação entre a recuperação do fósforo pela gramínea testada com o fósforo solúvel em solução de água mais citrato de amônio. Também DASH *et alii* (1981) indicam este extrator como forma de avaliar o P extraível.

4.2 - Ensaio com Sorgo

4.2.1 - Solo Anhembi

4.2.1.1 - Primeiro cultivo

Os dados de produção de matéria seca obtida nos três cultivos estão contidos na Tabela 7.

No primeiro cultivo, o comportamento do FAPS nas duas menores granulometrias foi semelhante ao do superfosfato simples em pó e superior às dos demais fontes de fósforo, quando consideradas as médias. Estes dados concordam com os obtidos por LEON e FENSTER (1980). As produções de matéria seca dos FAPS se igualaram ao superfosfato simples em pó e ao fosfato de Gafsa independentemente da calagem estes resultados concordam com os de McLEAN e BALAM (1967), McLEAN e LOGAN (1970), que obtiveram respostas iguais ou melhores dos fosfatos parcialmente acidulados, quando comparados com o superfosfato em solo ácido. O fosfato de Araxá teve a produção diminuída; o fato da calagem reprimir a resposta do fosfato de Araxá é devido a menor concentração de H^+ e ao efeito do ion comum (KAMPRATH,1976).

As quantidades de fósforo absorvidas pelas plantas encontram-se na Tabela 8. Quando não foi feita a calagem, a absorção de P nos tratamentos com o fosfato de Gafsa foi significativamente maior que a verificada com o superfosfato simples, o qual superou o FAPS, que, por sua vez, foi superior ao fosfato de Araxá. Todas as fontes diferiram significativamente da testemunha.

Tabela 7 - Efeito de Fontes de fósforo na produção de matéria seca (g/vaso) da planta de sorgo sacarino cv. Brandes, conduzidos em casa de vegetação, utilizando LVA de Anhembi. Média de quatro repetições.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO		
	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média
Testemunha	3,43d	3,47b	3,45D	0,04d	0,06e	0,05D	1,35b	2,00d	1,68E
Superfosfato simples em pó	54,55a	54,56a	54,55A	19,38a	20,42a	19,90A	19,59a	29,53a	24,56A
Superfosfato simples granulado	45,07bc	52,80a	48,93B	17,77a	19,16a	18,46A	17,09a	22,97bc	20,03B
FA	40,55c	8,41b	24,48C	6,17bc	9,14d	7,65C	1,53b	18,88c	10,21D
FAPS < 1 mm	50,30ab	56,49a	53,39A	9,71b	16,41abc	13,06B	3,66b	26,08ab	14,87C
FAPS 1-2 mm	55,15a	55,32a	55,24A	4,36bcd	11,09cd	7,22C	4,97b	20,70c	12,83CD
FAPS 2-3 mm	50,80ab	48,89a	49,85B	3,60cd	13,23bcd	8,41C	1,63b	19,96c	10,79D
Fosfato de Gafsa	48,89abc	48,65a	48,77B	20,01a	16,95ab	18,48A	18,86a	27,32ab	23,09AB
MÉDIA	43,59a	41,07a		10,13ab	13,31a		8,59ab	20,93a	
Valores de F:	Fontes (F) = 85,09**	Fontes (F) = 27,05**	Fontes (F) = 36,76**	Fontes (F) = 11,27**	Fontes (F) = 193,82**	Fontes (F) = 8,48**	Fontes (F) = 24,03	Fontes (F) = 36,76**	Fontes (F) = 193,82**
	Calagem(C) = 3,13ns	Calagem(C) = 11,27**	Calagem(C) = 11,27**	F x C = 2,46*	F x C = 8,48**	F x C = 24,03	F x C = 24,03	Calagem(C) = 193,82**	F x C = 8,48**
	F x C = 9,57**	F x C = 2,46*	F x C = 2,46*	C.V.% = 13,44	C.V.% = 32,32	C.V.% = 32,32	C.V.% = 32,32	C.V.% = 8,48**	C.V.% = 24,03

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, Duncan 5%.

Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal comparam Calagem.

Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

Tabela 8 - Efeito de Fontes de fósforo sobre as quantidades de fósforo (mg/vaso) absorvido pela planta de sorgo sacarino, cv. Brandes, cultivado em LVA de Anhembi.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO		
	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média
Testemunha	0,58d	0,53e	0,55E	0,01f	0,01e	0,01E	0,22b	0,32d	0,27D
Superfosfato simples em pó	21,71b	26,07a	23,89B	6,40b	6,99a	6,69AB	7,98a	12,18a	10,08A
Superfosfato simples granulado	21,23b	22,26b	21,74B	4,89bc	6,73a	5,81B	6,54a	10,91a	8,72A
FA	16,49c	4,13d	10,31D	3,06de	2,57d	2,82D	0,51b	6,68bc	3,60BC
FAPS 1 mm	15,96c	14,93c	15,45C	3,61cd	4,65bc	4,13C	1,66b	8,16b	4,91B
FAPS 1-2 mm	13,86c	14,30c	14,08C	1,40ef	3,89cd	2,65D	2,22b	5,76c	3,99BC
FAPS 2-3 mm	14,97c	13,55c	14,26C	0,42f	4,34cd	2,38D	0,87b	5,07c	2,97C
Fosfato de Gafsa	30,77a	24,93ab	27,85A	8,36a	6,19ab	7,28A	6,69a	12,75a	9,72A
MÉDIA	16,95a	15,09b		3,52ab	4,42a		3,34ab	7,73a	
Valores de F:	Fontes (F) = 94,18**	Fontes (F) = 94,18**	Fontes (F) = 33,65**	Fontes (F) = 33,65**	Fontes (F) = 46,13**		Fontes (F) = 46,13**		
	Calagem(C) = 8,88**	Calagem(C) = 8,88**	Calagem(C) = 8,94**	Calagem(C) = 8,94**	Calagem(C) = 139,70**		Calagem(C) = 139,70**		
	F x C = 8,36**	F x C = 8,36**	F x C = 4,86**	F x C = 4,86**	F x C = 3,82**		F x C = 3,82**		
	C.V.% = 15,59	C.V.% = 15,59	C.V.% = 30,46	C.V.% = 30,46	C.V.% = 26,87		C.V.% = 26,87		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, Duncan 5%.

Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal comparam Calagem.

Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

O FAPS em diferentes granulometrias liberaram as mesmas quantidades de P às plantas. A calagem favoreceu a absorção de P do superfosfato simples em pó, mas diminuiu drasticamente a dos fosfatos de Araxá e de Gafsa. Não houve efeito da calagem nos casos do superfosfato simples granulado e do FAPS.

As quantidades de Ca absorvidas pelas plantas nos diferentes tratamentos estão contidos na Tabela 9. A absorção de Ca no tratamento superfosfato simples em pó igualou-se à verificada no caso do fosfato de Gafsa; ambos foram superiores ao SSG e ao FAPS, que, por sua vez, diferiram significativamente do fosfato de Araxá.

As quantidades de Ca absorvidas pelas plantas foram semelhantes quando se usou o superfosfato simples granulado e FAPS de maior granulometria. A calagem proporcionou maior absorção de cálcio para todas as fontes testadas, com exceção do fosfato de Araxá, que teve a sua diminuída.

Os dados referentes às quantidades de enxofre absorvidas pelas plantas encontram-se na Tabela 10. A absorção de S pelas plantas, nos tratamentos com o FAPS, diferiu da verificada no tratamento com fosfato de Gafsa, fosfato de Araxá e testemunha. Na comparação das fontes em presença de calagem, observa-se que o FAPS igualou-se aos superfosfatos. Observa-se, ainda, que a quantidade de enxofre absorvida pelas plantas, das fontes solúveis, foi maior para o solo não corrigido com calcário. É provável que neste caso, o superfosfato não esteja funcionando igualmente, como fonte dos dois

Tab. 9 - Efeito de Fontes de fósforo sobre as quantidades de cálcio (mg/vaso) absorvido pela planta de sorgo sacarino, cv. Brandes, cultivado em LVA de Anhembi.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO		
	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média
Testemunha	0,88d	1,67c	1,27E	0,002d	0,02d	0,012E	0,19c	0,42e	0,30E
Superfosfato simples em pó	29,20ab	40,23a	34,72A	4,99b	5,41a	5,20A	3,91b	7,42a	5,66B
Superfosfato simples granulado	24,76b	35,60ab	30,18BC	4,64b	4,61a	4,62B	3,10b	6,81ab	4,95B
FA	17,89c	4,62c	11,25D	1,50c	1,50c	1,50D	0,26c	3,90d	2,08D
FAPS 1 mm	23,43bc	31,45b	27,44C	1,87c	3,02b	2,44C	0,56c	5,96bc	3,26C
FAPS 1-2 mm	26,29b	33,69b	29,99BC	1,11cd	2,98b	2,04C	0,66c	5,04cd	2,85CD
FAPS 2-3 mm	27,08b	32,97b	30,02BC	0,45cd	2,67bc	1,56D	0,28c	4,30d	2,29D
Fosfato de Gafsa	33,26a	34,48ab	33,87AB	6,32a	2,89bc	4,61B	5,20a	7,94a	6,57A
MÉDIA	22,85ab	28,84a		2,61a	2,89a		1,77b	5,22a	
Valores de F:	Fontes (F) = 71,06**	Fontes (F) = 31,53**	Fontes (F) = 46,32**	Fontes (F) = 15,74**	Fontes (F) = 1,44ns	Fontes (F) = 254,76**	Fontes (F) = 6,11**	Fontes (F) = 24,76	
	Calagem(C) = 7,83**	Calagem(C) = 6,92**	Calagem(C) = 6,92**	Calagem(C) = 16,20	Calagem(C) = 33,95	Calagem(C) = 6,11**	Calagem(C) = 6,11**	Calagem(C) = 6,11**	
	F x C = 16,20	F x C = 16,20	F x C = 16,20	F x C = 16,20	F x C = 16,20	F x C = 16,20	F x C = 16,20	F x C = 16,20	
	C.V.% = 16,20	C.V.% = 16,20	C.V.% = 16,20	C.V.% = 16,20	C.V.% = 16,20	C.V.% = 16,20	C.V.% = 16,20	C.V.% = 16,20	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, Duncan 5%.

Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal comparam Calagem. Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

Tabela 10 - Efeito de Fontes de fósforo sobre as quantidades de enxofre (mg/vaso), absorvido pela planta de sorgo sacarino, cv. Brandes, cultivado em LVA de Anhembi.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO		
	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média
Testemunha	0,81d	0,52c	0,66E	0,005e	0,01d	0,008D	0,28c	0,33e	0,31E
Superfosfato simples em pó	22,42a	15,03a	18,73A	5,07a	3,31a	4,19A	6,86a	8,27a	7,57A
Superfosfato simples granulado	20,03a	12,93ab	16,48AB	5,02a	2,41abc	3,72A	6,01ab	6,80ab	6,40B
FA	11,09c	2,07c	6,58D	1,75cd	1,25c	1,50C	0,52C	4,85cd	2,69CD
FAPS < 1 mm	16,12b	14,81a	15,46B	2,41bc	2,74ab	2,57B	1,16c	6,30bc	3,73C
FAPS 1-2 mm	16,60b	14,17a	15,38B	1,51cd	1,66bc	1,58C	1,52c	5,17bcd	3,34CD
FAPS 2-3 mm	19,88a	12,60ab	16,24B	0,96de	2,08abc	1,52C	0,63c	4,40d	2,52D
Fosfato de Gafsa	15,43b	10,61b	13,02C	3,41b	2,22abc	2,81B	5,06b	5,82bcd	5,44B
MÉDIA	15,30a	10,34ab		2,52a	1,96ab		2,76b	5,24a	
Valores de F:	Fontes (F) = 57,24**	Fontes (F) = 22,17**	Fontes (F) = 36,70**	Calagem(C) = 75,65**	Calagem(C) = 7,45**	Calagem(C) = 82,23**	F x C = 4,07**	F x C = 6,27**	F x C = 6,27**
	C.V.% = 17,78	C.V.% = 36,47	C.V.% = 27,43						

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, Duncan 5%.

Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal comparam Calagem.

Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

nutrientes; a calagem poderia estar afetando em maior intensidade a disponibilidade do fósforo. Observações feitas por CATANI *et alii* (1971) indicam que a quantidade de sulfato adsorvido aumenta com a concentração de sulfato da solução de equilíbrio, e diminui à medida que se eleva o pH do solo.

4.2.1.2 - Segundo cultivo

Os dados referentes à produção de matéria seca das plantas encontram-se na Tabela 7.

No segundo cultivo, os superfosfatos e o fofato de Gafsa garantiram produções iguais entre si e foram superiores às demais fontes. O FAPS de menor granulometria diferiu dos outros dois de maior granulometria e estas tiveram o mesmo comportamento que o fofato de Araxá e foram melhores que a testemunha. Os superfosfatos e o fofato de Gafsa deram respostas independentes da calagem, enquanto que o FAPS e o fofato de Araxá mostraram resposta maior quando a acidez foi corrigida. Os dados relativos ao fofato de Araxá contrariam, portanto, o que é comumente verificado, isto é, o baixo pH favorecendo o aproveitamento (CHIEN *et alii*, 1980).

A Tabela 8 traz as quantidades de fósforo absorvidas pelas plantas de sorgo. A absorção de P nos tratamentos com superfosfatos simples em pó e fofato de Gafsa é maior que nas demais fontes testadas. O FAPS (< 1 mm) teve maior quantidade de P absorvido que as de maior granulometria. A calagem favoreceu de forma posi-

va a absorção de P nos tratamentos com o superfosfato e FAPS, mas a correção da acidez prejudicou o comportamento do fosfato de Araxá e do de Gafsa.

Quanto ao cálcio absorvido pelas plantas (Tabela 9), observa-se que, nos tratamentos utilizados, o superfosfato simples em pó superou o SSG e o fosfato de Gafsa, e estas três fontes diferiram significativamente do FAPS e fosfato de Araxá. A calagem promoveu uma maior absorção do cálcio pelas plantas, quando as fontes utilizadas foram o superfosfato simples e FAPS; o corretivo, entretanto, foi prejudicial para o fosfato de Araxá e de Gafsa.

A Tabela 10 mostra as quantidades de enxofre absorvidas pelas plantas. A calagem diminuiu a absorção de S, nos tratamentos com superfosfato simples, fosfato de Araxá e de Gafsa, enquanto que, para os FAPS, houve uma melhoria na absorção. As médias mostram que a maior absorção de S foi garantida pelos superfosfatos.

4.2.1.3 - Terceiro cultivo

Os dados de produção de matéria seca encontram-se na Tabela 7. O superfosfato simples em pó e o fosfato de Gafsa foram significativamente superiores às demais fontes, não diferindo, entretanto, entre si. Quanto à granulometria, os FAPS (< 1 mm) superaram outros de grânulos maiores (LEON e FENSTER, 1980; ASHBY *et alii*, 1966) e a calagem favoreceu todas as fontes.

Na Tabela 8 são observadas as quantidades de P absor

vidas pelas plantas nos diferentes tratamentos. A absorção de P nos tratamentos com superfosfato simples em pó, granulado e fosfato de Gafsa se igualaram, mas foram superiores às verificadas com os do fosfato de Araxá. A calagem favoreceu de forma significativa todas as fontes testadas. A essa maior absorção de P das fontes em presença da calagem sugere que a correção da acidez promoveu maior liberação do P não disponível do solo, em excesso da quantidade necessária para a formação da colheita.

Considerando o cálcio absorvido pelas plantas (Tabela 9), observa-se que o fosfato de Gafsa foi significativamente superior às demais fontes. O FAPS de menor granulometria teve melhor comportamento que os de maior grânulo. A calagem beneficiou todas as fontes empregadas, e esta diferença se deve, em parte, ao elemento proveniente do corretivo; nota-se que o fosfato de Gafsa e o superfosfato simples em pó se igualaram e foram significativamente superiores às demais fontes testadas.

A quantidade de S absorvida pelas plantas de sorgo encontra-se na Tabela 10. O superfosfato simples em pó superou o superfosfato simples granulado e o fosfato de Gafsa, mostrando que é a fonte que fornece mais enxofre para as plantas. Houve diferença para a granulometria dos FAPS, destacando-se o de menor grânulo (<1 mm), enquanto que o intermediário (1-2 mm) teve o mesmo comportamento que o fosfato de Araxá, e ambos diferiram do FAPS (2-3 mm).

4.2.1.4 - Eficiência relativa

A Figura 1 mostra a eficiência relativa das fontes fosfatadas, nos três cultivos realizados no solo sem calagem. Verifica-se que no primeiro cultivo os FAPS atingiram, em média, 95% da eficiência em relação ao superfosfato simples em pó, admitido como 100%. Este resultado concorda com o de LUTZ (1971). O SSG e o fosfato de Gafsa tiveram eficiência de, respectivamente, 83% e 90%, enquanto que o fosfato de Araxá teve 75% de eficiência. No segundo e terceiro cultivos a eficiência relativa dos FAPS decresceu para 31% e 17%, respectivamente, enquanto que para o fosfato de Araxá obteve-se 32% e 8,0% de eficiência para os dois últimos cultivos, respectivamente. Isto sugere que o fosfato de Araxá solubilizou-se (P disponível) e parte do P foi fixado por óxido de Fe e Al, conforme os dados de fracionamento.

Considerando a média dos três cultivos realizados, observa-se que os FAPS de menor granulometria tiveram uma eficiência média de 70% em comparação ao de maior grânulo (60%). Estes resultados concordam com o encontrado por HAMMOND *et alii* (1980). O fosfato de Araxá teve eficiência um pouco acima de 50%, enquanto que a eficiência do fosfato de Gafsa foi de 94%, comparável ao do SSP. Em resumo, SSG teve um adicional de aproximadamente 20% em relação ao FAPS.

Analisando-se a Figura 2, observa-se a eficiência das fontes em presença de calagem. No primeiro cultivo os FAPS e SSP

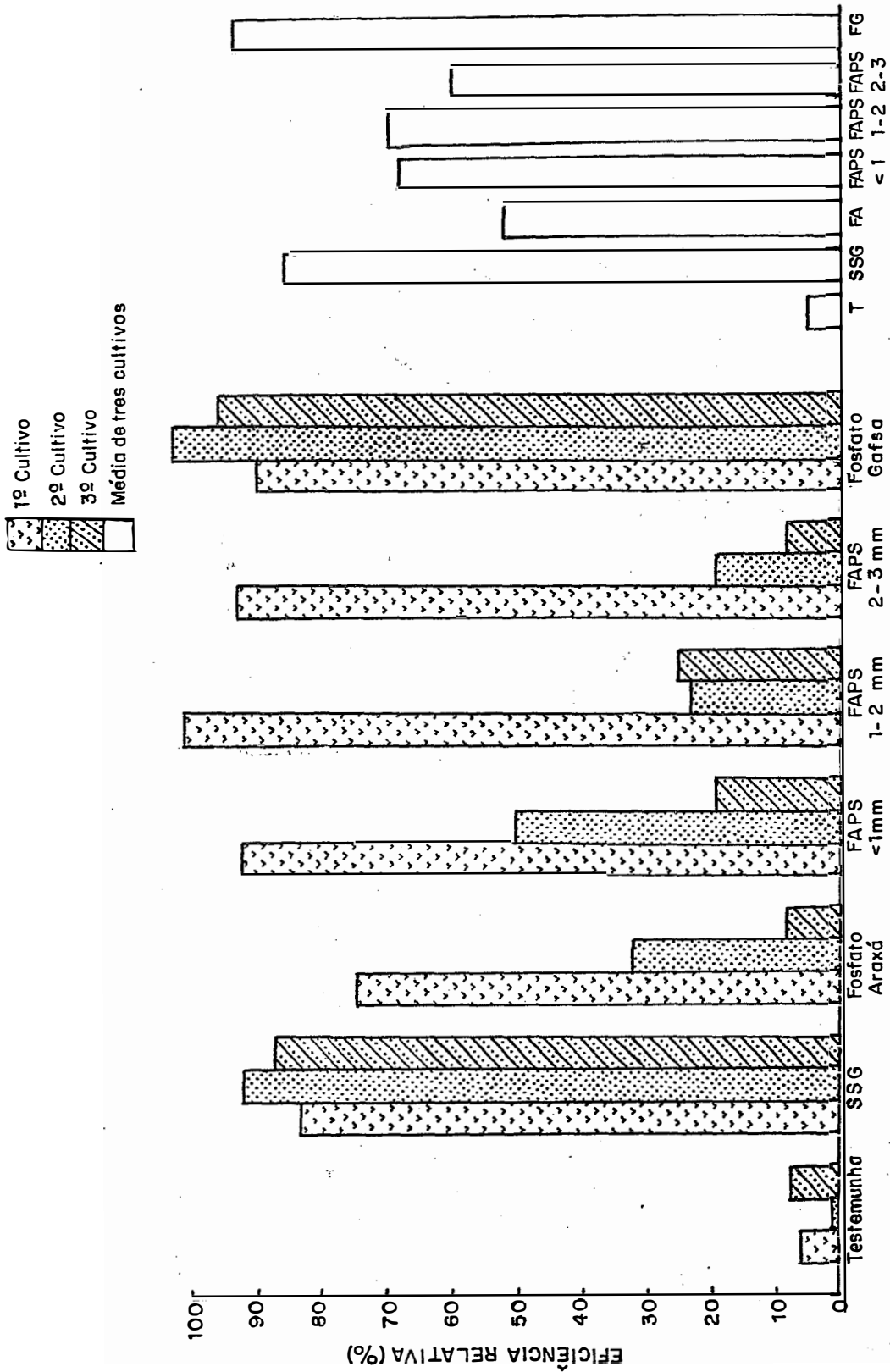


Figura 1 - Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no LVA de Anhembi, sem calagem, considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato simples em pó igual a 100 em cada cultivo.

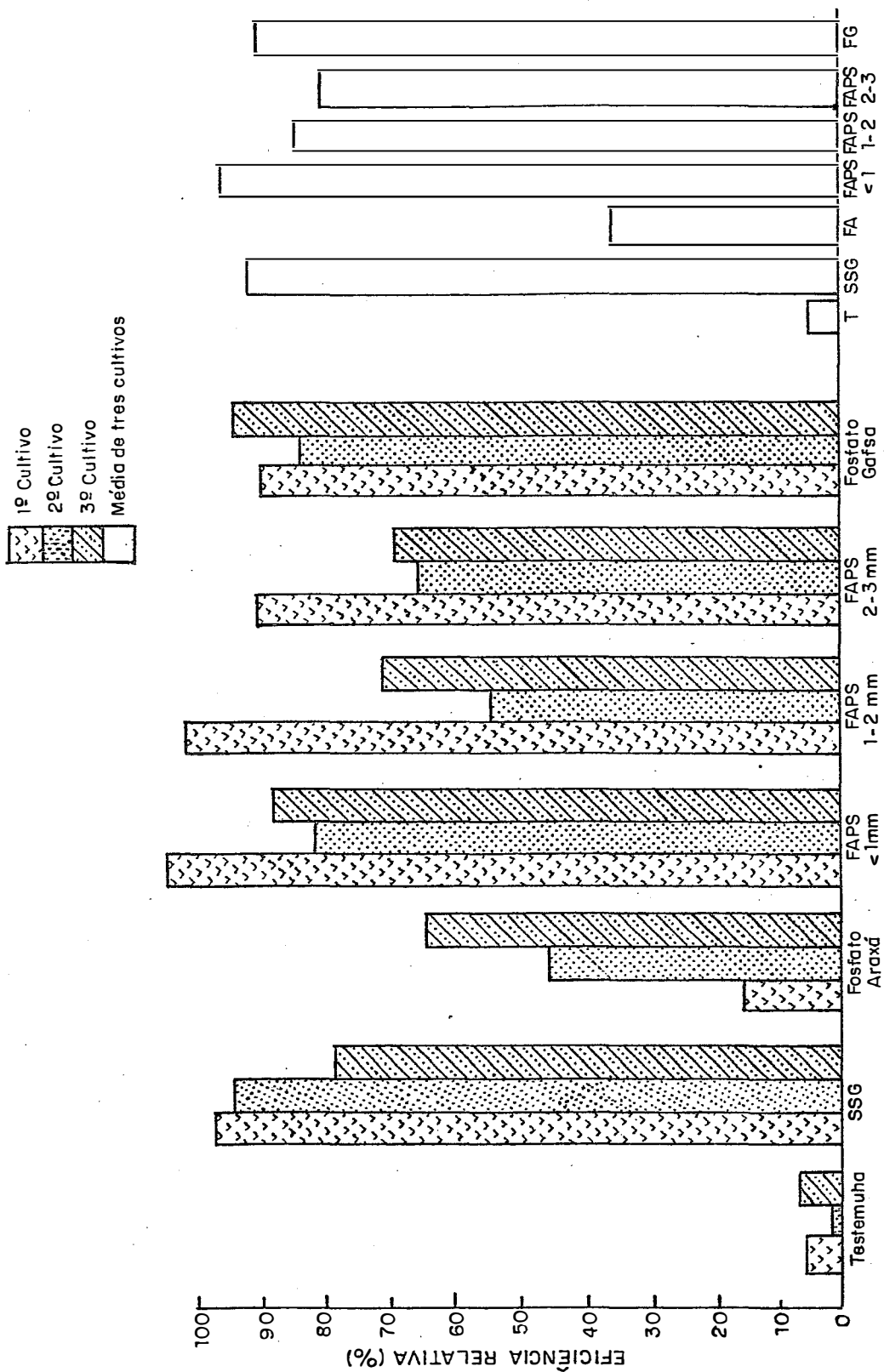


Figura 2 - Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no LVA de Anhembi, com calagem e considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato simples igual a 100 em cada cultivo

mostraram igual efeito, tendo em média a eficiência de 98%, o mesmo não acontecendo com o fosfato de Araxá (15%). Mas, a partir do segundo e terceiro cultivos, a eficiência média do FAPS passou a 66% e 75%, respectivamente, enquanto que, para o fosfato de Araxá, a eficiência aumentou para 45% e 55%. Este resultado contraria os de GOEDERT e LOBATO (1980). O SSG passou a ter uma eficiência menor com o tempo de cultivo. Os dados médios de três cultivos mostram que o FAPS e o fosfato de Araxá possuem eficiência relativa de 86% e 25% respectivamente.

4.2.1.5 - Análises de Solos

Na Tabela 11 estão apresentados os valores de pH e os teores de P no solo, provenientes de três cultivos. De maneira geral, observa-se que houve diminuição nos valores de pH nos tratamentos com superfosfatos, quando comparados às demais fontes. Possivelmente isto se deve à reação do fosfato monocálcico no solo formando uma solução de alta acidez (FASSBENDER, 1978). Essa solução dissolve óxidos de Fe, Al e Mn, dando origem a fosfatos cristalinos e amorfos de Fe, Al e Mn, menos solúveis.

Verifica-se que a omissão da calagem faz aumentar o P disponível do solo. Este maior teor se deve, principalmente, ao tipo de extrator utilizado, que neste caso foi o NaHCO_3 , pH = 8,5. Segundo FASSBENDER (1978), o NaHCO_3 , pH = 8,5, tem a capacidade de extrair o fósforo ligado ao ferro e ao Alumínio, através do aumento

Tabela 11 - Valor de pH (H₂O) e teor de fósforo (µg/ml) no solo, determinado pelo método de Olsen, após o cultivo do sorgo sacarino, cv. Brandes, em LVA de Anhembi.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO					
	Sem calagem		Com calagem	Sem calagem		Com calagem	Sem calagem		Com calagem			
	pH	P	pH	P	pH	P	pH	P	pH	P		
Testemunha	5,0	4,21	5,8	2,72	4,8	5,53	5,5	2,73	5,0	4,13	5,6	4,34
Superfosfato sim- ples em pó	4,1	87,62	4,9	83,51	4,2	47,61	4,5	40,83	4,3	63,68	4,4	47,61
Superfosfato sim- ples granulado	4,4	87,62	4,9	68,83	4,2	67,70	4,5	60,88	4,1	66,49	4,2	30,96
FA	4,5	18,62	5,3	12,63	4,3	23,01	4,9	12,08	4,3	13,58	4,9	15,63
FAPS < 1 mm	4,5	53,96	5,1	40,96	4,3	40,59	4,9	29,09	4,4	14,69	4,8	38,91
FAPS 1-2 mm	4,4	36,04	5,0	24,97	4,2	31,61	4,7	18,83	4,3	24,98	4,6	31,61
FAPS 2-3 mm	4,3	35,54	5,0	21,15	4,3	34,79	4,8	22,17	4,5	18,81	4,9	30,30
Fosfato Gafsa	4,8	59,10	5,5	16,09	4,8	53,68	5,1	39,93	4,6	34,89	5,0	31,52

de suas solubilidades. Este extrator reflete bem a disponibilidade de P dos fosfatos naturais, por ser um extrator básico, não dissolvendo o P dos fertilizantes (RAIJ, 1981).

No solo, depois do terceiro cultivo, verifica-se, porém, que a calagem aumentou o teor de P disponível nos tratamentos com FAPS.

A Tabela 12 traz as várias formas de P no solo, determinadas pelo fracionamento depois do último cultivo. Houve predominância das frações, na seguinte ordem decrescente: P-Fe > P-Al > > P-Ca > P solúvel NH_4Cl . De maneira geral, as formas de P-Fe e P-Al são encontradas em maiores quantidades nos tratamentos sem calagem, enquanto que a calagem aumenta as frações de P-Ca e P solúvel em NH_4Cl .

As formas de P variaram em função das fontes utilizadas. Observa-se que, para o superfosfato e o FAPS, o P-Fe predomina sobre o P-Al, enquanto que no fosfato de Araxá encontra-se as formas de P-Fe = P-Ca > P-Al. No fosfato de Gafsa aparecem as formas de P-Fe = P-Al > P-Ca. Apesar das inversões das frações, todas as fontes apresentam predominância do P-Fe sobre as demais formas, indicando alta intemperização do solo em estudo.

Tabela 12 - Quantidades de formas de P ($\mu\text{g/ml}$) encontrados no LVA de Anhembi, cultivado com sorgo sa-
carino na presença e ausência de calagem. Terceiro cultivo (média de duas repetições).

TRATAMENTOS	Fósforo solúvel em NH_4Cl		Fósforo ligado a Alumínio		Fósforo ligado a Ferro		Fósforo ligado a Cálcio		P Total	
	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
	26,68	26,68	46,87	46,87	156,06	121,34	1,18	15,93	230,79	210,81
Testemunha	26,68	26,68	46,87	46,87	156,06	121,34	1,18	15,93	230,79	210,81
Superfosfato simples em pó	26,68	26,68	105,47	108,72	156,06	171,84	15,93	26,99	304,14	334,23
Superfosfato simples granulado	50,44	50,44	115,24	108,72	171,84	152,90	11,50	30,68	349,02	342,74
Fosfato de Araxá	24,98	33,47	72,92	79,43	187,62	159,22	156,05	185,54	441,57	457,70
FAPS < 1 mm	24,98	33,47	105,47	89,19	168,53	197,09	89,67	82,30	388,65	402,05
FAPS 1-2 mm	24,98	24,98	89,19	89,19	171,84	162,37	67,55	74,92	353,56	351,46
FAPS 2-3 mm	24,98	24,98	85,94	82,68	137,12	121,34	67,55	71,24	315,59	300,24
Fosfato de Gafsa	41,95	64,02	108,72	118,49	118,18	111,87	38,05	97,05	306,90	391,43

4.2.2 - Solo Botucatu

4.2.2.1 - Primeiro cultivo

Os dados de produção de matéria seca das plantas, obtidos em três cultivos sucessivos, estão na Tabela 13.

No primeiro cultivo, com relação às médias houve efeito significativo para a granulometria do FAPS, destacando-se a de maior, menor e médio, respectivamente. Os FAPS foram superiores ao fosfato de Araxá e diferiram da testemunha. Os superfosfatos não diferiram do fosfato de Gafsa, mas os dois superaram as demais fontes.

O comportamento das fontes, na presença de calagem, mostra que os superfosfatos e os FAPS (2-3 mm) não diferiram entre si quanto à produção de matéria seca. A calagem favoreceu as fontes fosfatadas, aumentando a produção quando comparadas aos respectivos tratamentos sem calagem, com exceção dos fosfatos de Araxá e de Gafsa, nos quais esta prática corretiva provocou uma diminuição na produção de matéria seca.

Quanto ao fósforo absorvido pelas plantas (Tabela 14), observa-se que o FAPS de menor granulometria e o SSP liberaram a mesma quantidade de P às plantas, ambos diferindo do fosfato de Araxá e da testemunha. O SSP e o fosfato de Gafsa foram as melhores fontes. A calagem diminuiu a absorção de P nos tratamentos com o fosfato de Araxá e de Gafsa.

Tabela 13 - Efeito de Fontes de fósforo na produção de matéria seca (g/vaso) da planta de sorgo sacari-
no, cv. Brandes, conduzidos em casa de vegetação, utilizando LE de Botucatu. Média de qua-
tro repetições.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO		
	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média
Testemunha	0,11g	0,26d	0,18F	0,15c	0,29d	0,22E	0,21d	0,46c	0,33F
Superfosfato simples em pó	50,47bc	67,15a	58,81A	3,07b	20,12a	11,59B	21,53bc	29,51b	25,52CD
Superfosfato simples granulado	52,28b	59,21ab	55,75AB	2,29bc	17,30b	9,79C	21,21bc	26,99b	24,10D
FA	9,22f	0,37d	4,79E	1,01bc	2,58c	1,80E	1,47d	32,46b	16,96E
FAPS 1 mm	34,38e	58,49b	46,43C	0,75bc	15,11b	7,93D	28,75ab	45,16a	36,96A
FAPS 1-2 mm	38,18de	42,84c	40,51D	1,07bc	14,92b	7,99D	29,46ab	43,65a	36,55A
FAPS 2-3 mm	43,27cd	61,49ab	52,38B	0,26c	15,45b	7,85D	15,63c	45,92a	30,70BC
Fosfato de Gafsa	67,15a	47,95c	57,55AB	23,34a	16,76b	20,05A	30,96a	32,66b	31,82AB
MÉDIA	36,88ab	42,22a		3,99b	12,81a		18,65ab	32,10a	
Valores de F:	Fontes (F) = 156,25**	Fontes (F) = 117,91**	Fontes (F) = 40,00**	Fontes (F) = 15,86**	Fontes (F) = 496,11**	Fontes (F) = 98,35**	Fontes (F) = 14,73**	Fontes (F) = 64,63**	Fontes (F) = 9,74**
	Calagem(C) = 15,86**	Calagem(C) = 496,11**	Calagem(C) = 98,35**	Calagem(C) = 14,73**	Calagem(C) = 64,63**	Calagem(C) = 9,74**	Calagem(C) = 13,55	Calagem(C) = 18,86	Calagem(C) = 21,37
	F x C = 14,73**	F x C = 64,63**	F x C = 9,74**	F x C = 13,55	F x C = 18,86	F x C = 21,37	F x C = 18,86	F x C = 21,37	F x C = 21,37
	C.V.% = 13,55	C.V.% = 18,86	C.V.% = 21,37	C.V.% = 13,55	C.V.% = 18,86	C.V.% = 21,37	C.V.% = 18,86	C.V.% = 21,37	C.V.% = 21,37

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, Duncan 5%.

Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal comparam Calagem.

Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

Tabela 14 - Efeito de Fontes de fósforo sobre as quantidades de fósforo (mg/vaso) absorvidas pela planta de sorgo sacarino, cv. Brandes, cultivado em um LE de Botucatu.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO		
	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média
Testemunha	0,02f	0,03e	0,03D	0,02b	0,04d	0,03D	0,04e	0,09d	0,06F
Superfosfato simples em pó	22,63b	24,07a	23,35A	0,92b	6,39a	3,65B	8,29b	9,98c	9,14D
Superfosfato simples granulado	18,35c	22,42a	20,38B	0,66b	3,86b	2,26C	8,83b	11,42bc	10,12D
FA	3,51e	0,06e	1,78D	0,21b	1,02c	0,61D	0,64c	12,82bc	6,73E
FAPS 1 mm	11,60d	15,45c	13,53BC	0,16b	3,77b	1,96C	10,74b	11,36bc	11,05CD
FAPS 1-2 mm	9,18d	11,08d	10,13C	0,28b	3,60b	1,94C	13,75a	13,09b	13,42B
FAPS 2-3 mm	10,22d	12,71cd	11,47C	0,05b	3,71b	1,88C	10,32b	14,34b	12,33BC
Fosfato de Gafsa	27,21a	18,79b	23,00A	8,23a	6,24a	7,23A	14,61a	19,85a	17,23A
MÉDIA	12,84a	13,08a		1,32b	3,58a		8,40b	11,62a	
Valores de F:	Fontes (F) = 159,14**	Fontes (F) = 108,06**	Fontes (F) = 53,53**	Fontes (F) = 224,66**	Fontes (F) = 42,92**	Fontes (F) = 8,86**	Fontes (F) = 32,43**	Fontes (F) = 24,66	Fontes (F) = 19,62
	Calagem(C) = 0,22ns	Calagem(C) = 0,22ns	Calagem(C) = 0,22ns	Calagem(C) = 32,43**	Calagem(C) = 24,66	Calagem(C) = 19,62	Calagem(C) = 19,62	Calagem(C) = 19,62	Calagem(C) = 19,62
	F x C = 8,81**	F x C = 8,81**	F x C = 8,81**	F x C = 8,81**	F x C = 8,81**	F x C = 8,81**	F x C = 8,81**	F x C = 8,81**	F x C = 8,81**
	C.V.% = 15,57	C.V.% = 15,57	C.V.% = 15,57	C.V.% = 15,57	C.V.% = 15,57	C.V.% = 15,57	C.V.% = 15,57	C.V.% = 15,57	C.V.% = 15,57

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, Duncan 5%.

Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal comparam Calagem.

Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

A absorção de cálcio pelas plantas (Tabela 15) foi maior nos tratamentos com superfosfatos e fosfato de Gafsa que nas demais fontes. O FAPS de maior granulometria diferiu das demais e estes, por sua vez, diferiram do fosfato de Araxã e da testemunha. Comparando-se a fonte dentro da calagem, onde se analisou a absorção de Ca, percebe-se que o FAPS (2-3 mm) foi igual aos superfosfatos. A calagem favoreceu as fontes quanto comparadas à sem calagem, com exceção do fosfato de Araxã e de Gafsa, que tiveram a absorção diminuída.

A quantidade de enxofre absorvida pelas plantas (Tabela 16), nos tratamentos com o SSG, foi superior às demais fontes. Os FAPS diferiram do fosfato de Araxã e da testemunha. Quando se compara o efeito da calagem nos tratamentos, verifica-se que a absorção de S pelas plantas é aumentada quando a calagem é omitida, o que está coerente com os resultados encontrados no solo de Anhembi.

4.2.2.2 - Segundo cultivo

A produção de matéria seca encontra-se na Tabela 13. A análise estatística mostra que houve diferenças significativas entre as fontes de fósforo. O fosfato de Gafsa foi superior às demais fontes. Os FAPS superaram o fosfato de Araxã e a testemunha.

Em relação às fontes dentro da calagem, os FAPS se igualaram ao fosfato de Gafsa e suas produções superaram ao do fosfato de Araxã. A calagem promoveu um aumento na produção de matéria

Tabela 15 - Efeito de Fontes de fósforo sobre as quantidades de cálcio (mg/vaso) absorvido pela planta de sorgo sacarino, cv. Brandes, cultivado em um LE de Botucatu.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO		
	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média
Testemunha	0,03d	0,18e	0,11D	0,04b	0,09d	0,07E	0,04e	0,13d	0,08E
Superfosfato simples em pó	30,36b	39,78ab	35,07A	0,73b	5,06a	2,89B	2,59bc	6,34b	4,47C
Superfosfato simples granulado	29,84b	44,03a	36,94A	0,60b	3,88b	2,24C	3,54b	7,32b	5,43B
FA	3,00d	0,18e	1,59D	0,19b	0,45d	0,32E	0,65de	4,14c	2,39CD
FAPS < 1 mm	13,92c	35,36bc	24,64C	0,12b	2,69c	1,41D	1,66cd	6,39b	4,02C
FAPS 1-2 mm	15,05c	28,37d	21,71C	0,18b	3,19bc	1,68CD	1,33cde	6,01b	3,67C
FAPS 2-3 mm	16,67c	41,96a	29,31B	0,06b	3,38bc	1,72CD	1,78cd	6,35b	4,07C
Fosfato de Gafsa	45,99a	30,67cd	38,33A	6,30a	3,89b	5,09A	1,74a	8,74a	8,24A
MÉDIA	19,36ab	27,56a		1,03b	2,83a		2,41b	5,68a	
Valores de F:	Fontes (F) = 167,05**	Fontes (F) = 50,11**	Fontes (F) = 56,81**	Fontes (F) = 130,26**	Fontes (F) = 221,67**	Fontes (F) = 25,92**	Fontes (F) = 8,05**	Fontes (F) = 32,74	Fontes (F) = 21,68
	Calagem(C) = 98,49**	Calagem(C) = 130,26**	Calagem(C) = 130,26**	Calagem(C) = 25,92**	Calagem(C) = 8,05**	Calagem(C) = 32,74	Calagem(C) = 21,68	Calagem(C) = 21,68	Calagem(C) = 21,68
	F x C = 33,16**	F x C = 14,10	F x C = 14,10	F x C = 14,10	F x C = 14,10	F x C = 14,10	F x C = 14,10	F x C = 14,10	F x C = 14,10
	C.V.% = 14,10	C.V.% = 14,10	C.V.% = 14,10	C.V.% = 14,10	C.V.% = 14,10	C.V.% = 14,10	C.V.% = 14,10	C.V.% = 14,10	C.V.% = 14,10

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, Duncan 5%.

Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal comparam Calagem. Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

Tabela 16 - Efeito de Fontes de fósforo sobre as quantidades de enxofre (mg/vaso) absorvidas pelas plantas de sorgo sacarino, cv. Brandes, cultivado em um LE de Botucatu.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO		
	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média
Testemunha	0,02e	0,05e	0,04F	0,01c	0,05d	0,02E	0,06e	0,13c	0,09F
Superfosfato simples em pó	15,51a	14,38b	14,95B	0,83b	4,08a	2,45B	9,32abc	9,76a	9,54BC
Superfosfato simples granulado	16,73a	17,42a	17,07A	0,68bc	3,32b	2,00C	10,12ab	10,76a	10,44AB
FA	2,42d	0,08e	1,25F	0,22bc	0,59d	0,40E	1,17e	7,59b	4,38E
FAPS < 1 mm	10,26c	11,88c	11,07D	0,18bc	2,92bc	1,55D	7,28cd	9,70ab	8,49CD
FAPS 1-2 mm	11,01bc	8,81d	9,91DE	0,26bc	2,67bc	1,47D	7,99bc	10,19ab	9,09BCD
FAPS 2-3 mm	12,59b	12,50bc	12,54C	0,06c	2,53c	1,30D	5,07d	9,64ab	7,35D
Fosfato de Gafsa	11,13bc	7,81d	9,47E	4,22a	3,06bc	3,64A	11,35a	11,52a	11,43A
MÉDIA	9,96a	9,11b		0,81b	2,40a		6,54ab	8,66a	
Valores de F:	Fontes (F) = 137,82**	Fontes (F) = 45,45**	Fontes (F) = 35,43**	Calagem(C) = 5,35*	Calagem(C) = 178,43**	Calagem(C) = 23,04**	F x C = 2,70*	F x C = 3,47**	C.V.% = 23,17
	C.V.% = 15,29	C.V.% = 29,75							

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, Duncan 5%.

Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal comparam Calagem.

Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

seca em todas as fontes, excetuando-se o fosfato de Gafsa, que teve a produção diminuída.

A quantidade de fósforo absorvida pelas plantas (Tabela 14) acompanhou a produção de matéria seca para as mesmas fontes. A calagem favoreceu, de forma positiva, a absorção de P de todas as fontes, em comparação aos tratamentos sem calagem, exceto para o fosfato de Gafsa.

Quando os tratamentos estão na presença da calagem, o SSP e o fosfato de Gafsa foram superiores às demais fontes, enquanto que os FAPS e o SSG não diferiram entre si, mostrando ter o mesmo comportamento, mas foram superiores ao fosfato de Araxá.

Os dados relativos à quantidade de cálcio absorvida pelas plantas encontra-se na Tabela 15. Observa-se que o fosfato de Gafsa foi superior às demais fontes. Os FAPS tiveram o melhor comportamento como fontes do que o fosfato de Araxá. Quanto às fontes na presença de calagem, os FAPS de maior granulometria não diferiram do SSG e fosfato de Gafsa, e todos foram superiores à testemunha. Todas as fontes se beneficiaram com a calagem, exceção do fosfato de Gafsa.

As quantidades de enxofre absorvidas (Tabela 16) acompanharam às tendências observadas no caso do cálcio.

4.2.2.3 - Terceiro cultivo

A Tabela 13 contém os dados de produção de matéria seca. Os tratamentos com FAPS e fosfato de Gafsa diferiram das demais fontes em termos de produção, quando se consideraram as médias. Os FAPS com calagem superaram todas as fontes; o efeito da calagem talvez seja devido mais à neutralização do Al e Mn tóxicos que poderiam ter se acumulado no solo, em consequência do efeito do adubo nitrogenado, principalmente.

A quantidade de fósforo absorvida pelas plantas encontra-se na Tabela 14. Em relação aos tratamentos, os FAPS foram superiores aos superfosfatos. Todas as fontes de fósforo superaram a testemunha. A calagem influenciou de forma significativa os fosfatos de Araxá e de Gafsa, FAPS (2-3 mm) e SSG, quando comparados aos respectivos tratamentos sem calagem. Independentemente da calagem, o fosfato de Gafsa foi a melhor fonte de fósforo.

A Tabela 15 apresenta as quantidades de cálcio absorvidas pelas plantas. O fosfato de Gafsa foi superior às demais fontes. Os FAPS igualaram-se ao SSP e ambas as fontes diferiram do fosfato de Araxá. A calagem influenciou de forma significativa nas quantidades absorvidas de cálcio de todos os tratamentos.

A quantidade de enxofre absorvida pelas plantas (Tabela 16) foi maior nos tratamentos com fosfatos de Gafsa e SSG, do que nas demais fontes. A calagem favoreceu todas as fontes, provavelmente em virtude da eliminação da toxidez de Al neste solo.

4.2.2.4 - Eficiência relativa

A Figura 3 ilustra a eficiência relativa de diferentes fontes de fósforo. Analisando-se apenas os dados de três cultivos, em ausência de calagem, verifica-se que o FAPS e o fosfato de Araxá apresentaram uma eficiência média, respectivamente de 71% e 19%, enquanto que o fosfato de Gafsa ultrapassou o SSP em 50%, mostrando uma alta eficiência neste solo. Isto em parte se deve ao aumento da concentração de H^+ na solução, favorecendo a solubilização deste fosfato (pH = 4,4).

De maneira geral, a Figura 4 mostra que o fosfato de Araxá, os FAPS e o fosfato de Gafsa, em presença de calagem, tiveram suas eficiências relativas aumentadas com o número de cultivo. A média dos três cultivos, para o FAPS e o fosfato de Araxá, acusaram uma eficiência, respectivamente, de 98% e 30%. Para o SSP foi de 89%, enquanto que para o fosfato de Gafsa a eficiência foi para 83%.

4.2.2.5 - Análise do solo

A Tabela 17 apresenta as determinações realizadas no solo. O pH diminuiu com o número de cultivo em todos os tratamentos, mas o fosfato de Gafsa alcançou o maior valor em todos os cultivos, possivelmente devido ao alto conteúdo de óxido de cálcio (40%) que este adubo possui em relação às demais fontes.

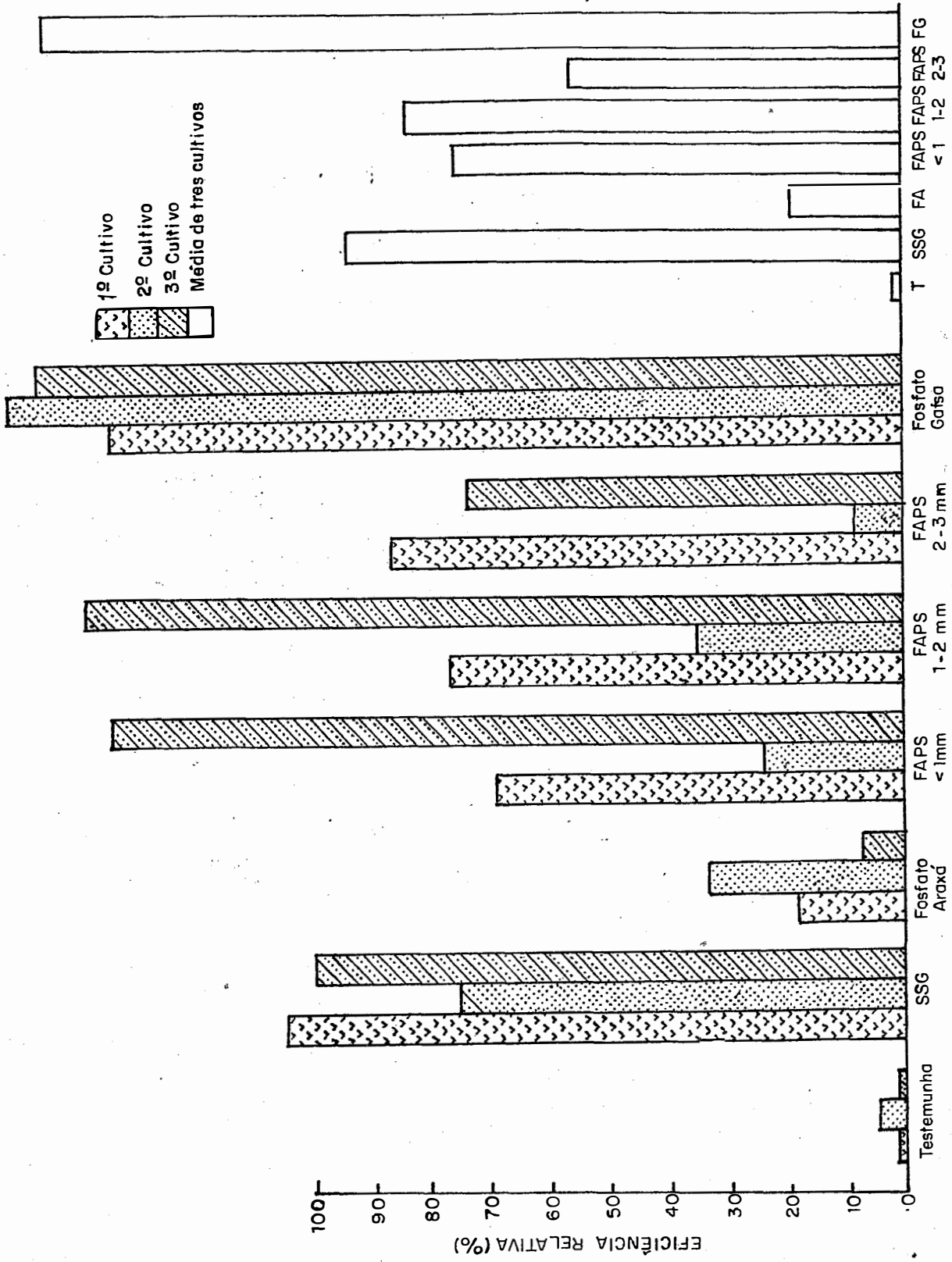


Figura 3 - Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no solo de Botucatu, sem calagem, considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato simples igual a 100 em cada cultivo.

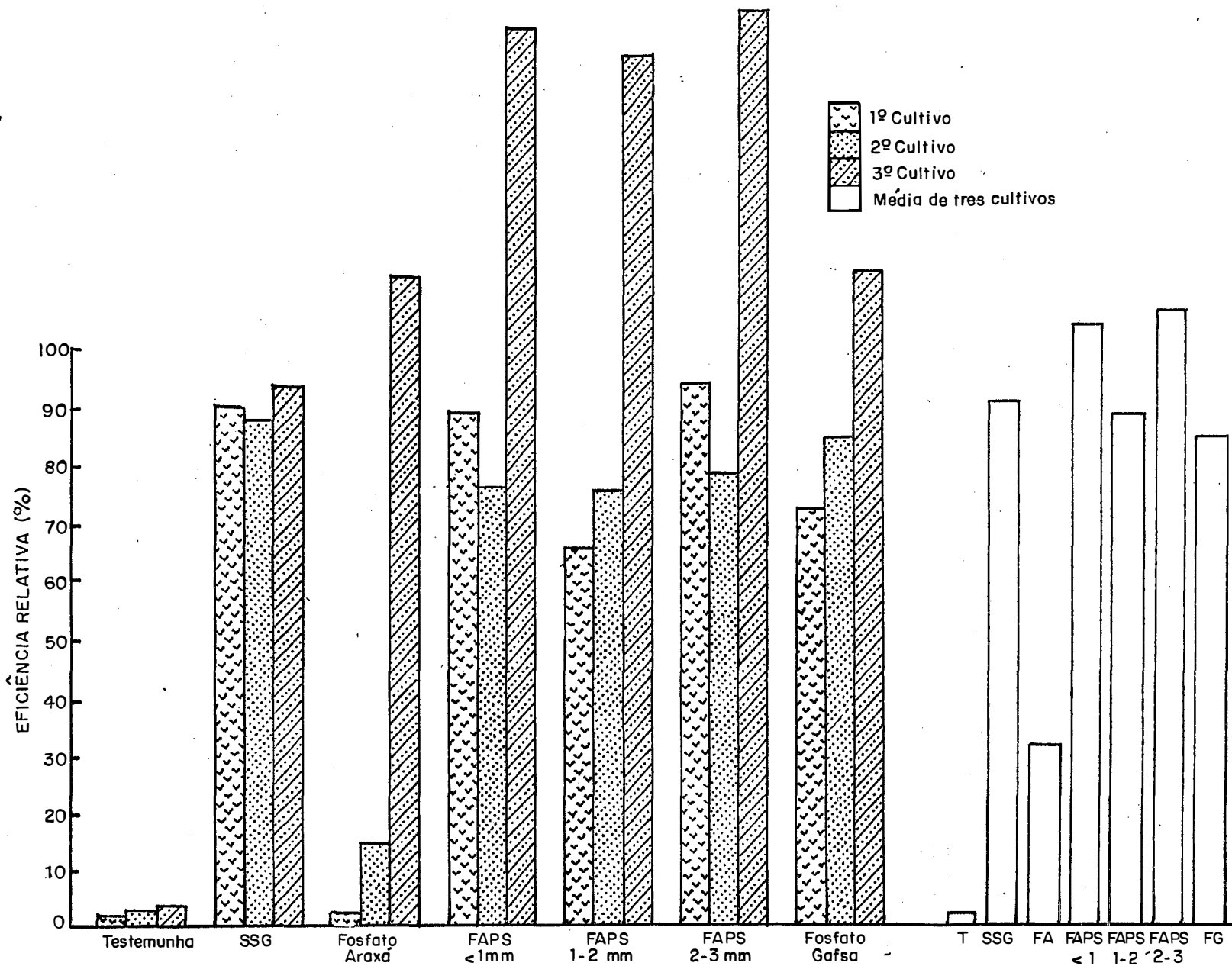


Figura 4 - Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no solo de Botucatu, com calagem, considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato simples igual a 100 em cada cultivo.

Tabela 17 - Valor de pH (H₂O) e teor de fósforo (µg/ml) no solo, determinado pelo método de Olsen, após o cultivo de sorgo sacarino, cv. Brandes, em LE de Botucatu.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO				SEGUNDO CULTIVO				TERCEIRO CULTIVO			
	Sem calagem		Com calagem		Sem calagem		Com calagem		Sem calagem		Com calagem	
	pH	P	pH	P	pH	P	pH	P	pH	P	pH	P
Testemunha	4,2	0,11	5,8	0,11	4,2	1,74	5,8	1,04	4,2	2,35	5,6	1,98
Superfosfato sim- ples em pó	4,4	87,62	4,4	68,55	4,4	82,67	4,4	62,75	4,2	74,45	4,4	39,56
Superfosfato sim- ples granulado	4,4	84,91	4,9	81,27	4,4	56,86	4,7	51,06	4,2	70,77	4,3	46,11
FA	4,7	16,65	5,2	1,98	4,2	18,25	4,9	5,06	4,2	22,74	4,6	13,95
FAPS < 1 mm	4,2	59,10	4,9	37,78	4,2	54,80	4,8	28,62	4,1	18,26	4,4	29,66
FAPS 1-2 mm	4,2	40,96	5,0	27,31	4,2	48,35	4,8	28,25	4,1	33,40	4,3	23,96
FAPS 2-3 mm	4,4	35,54	4,9	33,39	4,4	35,63	4,8	15,63	4,2	16,75	4,4	51,15
Fosfato Gafsa	4,9	44,42	5,6	18,24	4,9	40,87	5,5	16,19	4,4	37,13	5,0	12,82

O superfosfato simples deixou no solo, depois dos três cultivos, o maior teor de P disponível. Por outro lado, de modo geral, a calagem fez diminuir o P disponível independentemente das fontes, por razões já discutidas anteriormente no ensaio com sorgo em solo de Anhembi.

As mudanças das formas de P encontram-se na Tabela 18. Há uma predominância do P-Fe sobre as demais formas. A calagem aumenta as formas de P-Ca e P solúvel em NH_4Cl para as fontes, neste último caso, com exceção do SSG, e os fosfatos de Araxá e de Gafsa. Por outro lado, a calagem diminui as frações P-Al e P-Fe.

Os superfosfatos apresentam maiores quantidades das frações P-Fe sobre o P-Al e, quando se utiliza o SSG, estas frações diminuem com a calagem. Isto se deve à diminuição dos grupos sesquióxidos de ferro e alumínio, responsáveis pelas reações que o Pi do adubo passa, e também a granulação do adubo que diminui a fixação do P no solo (BARRETO, 1977).

No fosfato de Araxá predominam as frações, em ordem decrescente: P-Ca > P-Fe > P-Al > P solúvel NH Cl, enquanto que no FAPS tem-se: P-Fe > P-Al > P-Ca > P solúvel NH Cl. Mas, no fosfato de Gafsa, as frações aparecem da seguinte forma: P-Fe = P-Al > P-Ca > P solúvel em NH Cl. Este resultado é também observado para o sorgo cultivado no solo de Anhembi.

Tabela 18 - Quantidades de formas de P ($\mu\text{g/ml}$) encontradas no LE de Botucatu, cultivado com sorgo sa-
carino na presença e ausência de calagem. Terceiro cultivo (média de duas repetições).

TRATAMENTOS	Fósforo solúvel em NH_4Cl		Fósforo ligado a Alumínio		Fósforo ligado a Ferro		Fósforo ligado a Cálcio		P Total	
	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
	calagem	calagem	calagem	calagem	calagem	calagem	calagem	calagem	calagem	calagem
Testemunha	16,50	50,44	48,83	52,08	122,60	118,18	0,00	0,00	187,93	220,70
Superfosfato simples em pó	50,44	50,44	131,51	134,77	171,84	171,84	12,24	12,24	366,03	369,29
Superfosfato simples granulado	50,44	33,47	131,51	98,96	234,97	181,31	1,18	5,60	418,10	319,34
Fosfato de Araxá	33,47	2,92	76,17	72,92	178,15	149,75	192,91	200,29	480,70	425,88
FAPS < 1 mm	2,92	9,71	134,77	82,68	165,52	181,31	63,86	85,99	367,07	359,69
FAPS 1-2 mm	41,95	67,41	92,45	85,94	108,71	143,53	82,30	74,92	325,41	371,70
FAPS 2-3 mm	11,41	16,50	68,36	95,70	146,59	143,47	49,11	71,24	275,47	326,91
Fosfato de Gafsa	33,47	24,98	126,95	118,49	134,00	116,29	45,43	93,36	339,85	353,12

4.3 - Ensaio com Feijão

4.3.1 - Solo Anhembi

4.3.1.1 - Primeiro cultivo

As produções de matéria seca no primeiro cultivo são mostradas na Tabela 19. O fosfato de Gafsa foi significativamente superior aos superfosfatos e às demais fontes quando consideradas as médias. Os FAPS superaram o fosfato de Araxá e todas as fontes diferiram da testemunha. A calagem promoveu maiores produções nos tratamentos com superfosfatos, enquanto que o fosfato de Araxá e o de Gafsa tiveram as suas produções diminuídas. Os FAPS responderam com as mesmas produções independentemente da calagem. O fosfato de Gafsa, na ausência da calagem, produziu a maior quantidade de matéria seca quando comparado às demais fontes. A causa provável está no aumento da concentração de H^+ na solução que favoreceu de forma positiva o aumento da solubilidade do fosfato. Estes resultados concordam com os de DINYA *et alii* (1977) e GOEDERT e LOBATO (1980).

Quanto ao fósforo absorvido pelas plantas (Tabela 20), observa-se que os superfosfatos e o fosfato de Gafsa se igualaram e ambos foram superiores ao FAPS. No entanto, os FAPS superaram o fosfato de Araxá e todas as fontes diferiram da testemunha.

Os superfosfatos e o fosfato de Gafsa, na presença de calagem, forneceram maiores quantidades de P às plantas que as demais fontes, mas a calagem prejudicou o fosfato de Araxá.

Tabela 19 - Efeito de Fontes de fósforo na produção de matéria seca (g/vaso) de planta de feijão, cv. Carioca, conduzido em casa de vegetação, utilizando LVA de Anhembi. Média de quatro repetições.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO		
	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média
Testemunha	1,84d	2,01f	1,93F	2,55c	2,47d	2,51D	1,74	1,58	1,66E
Superfosfato simples em pó	25,12b	30,72a	27,92B	14,48b	19,21a	16,85B	14,02	17,70	15,86B
Superfosfato simples granulado	23,36bc	32,13a	27,75B	12,19b	18,76a	15,47B	10,79	15,44	13,12BC
FA	21,20bc	12,22e	16,71E	15,53b	10,89c	13,21C	9,06	10,54	9,80D
FAPS < 1 mm	20,62c	20,33d	20,47D	12,91b	12,43c	12,67C	7,43	15,42	11,43CD
FAPS 1-2 mm	23,94bc	25,88bc	24,91C	13,17b	13,62bc	13,40C	12,55	17,46	15,00B
FAPS 2-3 mm	21,57bc	23,89cd	22,73D	12,26b	12,06c	12,16C	8,81	17,96	13,39BC
Fosfato de Gafsa	34,95a	28,39ab	31,67A	20,21a	16,92ab	18,57A	25,99	28,96	27,47A
MÉDIA	21,58a	21,95a		12,91a	13,29a		11,30b	15,63a	
Valores de F:	Fontes (F) = 91,48**	Fontes (F) = 27,78**	Fontes (F) = 44,11**	Fontes (F) = 0,29ns	Fontes (F) = 0,35ns	Fontes (F) = 32,09**	Fontes (F) = 9,10**	Fontes (F) = 4,14**	Fontes (F) = 2,06ns
	Calagem(C) = 0,29ns	Calagem(C) = 0,29ns	Calagem(C) = 0,35ns	Calagem(C) = 9,10**	Calagem(C) = 4,14**	Calagem(C) = 2,06ns	Calagem(C) = 12,62	Calagem(C) = 19,76	Calagem(C) = 22,72
	F x C = 9,10**	F x C = 9,10**	F x C = 4,14**	F x C = 12,62	F x C = 19,76	F x C = 2,06ns	F x C = 12,62	F x C = 19,76	F x C = 22,72
	C.V.% = 12,62	C.V.% = 12,62	C.V.% = 19,76	C.V.% = 12,62	C.V.% = 19,76	C.V.% = 2,06ns	C.V.% = 12,62	C.V.% = 19,76	C.V.% = 22,72

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, Duncan 5%.

Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal comparam Calagem.

Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

Tabela 20 - Efeito de Fontes de fósforo sobre as quantidades de fósforo (mg/vaso) absorvidas pela planta de feijão, cv. Carioca, cultivado em um LVA de Anhembi.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO		
	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média
Testemunha	0,46e	0,40d	0,43D	0,44c	0,50e	0,47D	0,54c	0,56d	0,55D
Superfosfato simples em pó	8,81b	10,82a	9,81A	4,01b	5,12bc	4,57B	7,54b	10,17b	8,86B
Superfosfato simples granulado	8,04bc	10,06a	9,04A	3,81b	5,60ab	4,90B	5,54b	8,44bc	6,99BC
FA	6,32cd	3,74c	5,03C	3,45b	3,20d	3,32C	5,82b	6,41c	6,12C
FAPS 1 mm	6,59cd	6,40b	6,50B	4,06b	4,20cd	4,13B	4,91b	11,21b	8,06BC
FAPS 1-2 mm	7,39bcd	5,72b	6,55B	3,89b	4,17cd	4,02B	7,78b	9,18b	8,48B
FAPS 2-3 mm	5,79d	6,53b	6,16B	3,87b	3,91d	3,89BC	5,77b	9,49b	7,63BC
Fosfato de Gafsa	11,15a	9,57a	10,36A	8,45a	6,92a	7,68A	15,65a	18,76a	17,20A
MÉDIA	6,82a	6,65a		3,99a	4,25a		6,69b	9,28a	
Valores de F:	Fontes (F) = 57,79**	Fontes (F) = 56,57**	Fontes (F) = 50,20**	Calagem(C) = 0,30ns	Calagem(C) = 1,90ns	Calagem(C) = 32,18**	F x C = 4,16**	F x C = 2,35*	C.V.% = 22,82
	C.V.% = 17,60	C.V.% = 18,09							

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, Duncan 5%.

Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal comparam Calagem.

Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

Quanto à quantidade de cálcio absorvida (Tabela 21), o fosfato de Gafsa diferiu significativamente dos superfosfatos. O FAPS (< 1 mm) igualou-se ao fosfato de Araxá, mas ambos diferiram da testemunha. Quando se comparou o efeito da calagem, verificou-se que todas as fontes se beneficiaram com esta prática, com exceção dos fosfatos de Araxá e de Gafsa, que tiveram as suas quantidades diminuídas, o que indica que, em parte pelo menos, as demais fontes funcionaram também como fornecedoras de Ca.

A Tabela 22 apresenta as quantidades de enxofre absorvidas pelas plantas. Observa-se que o SSG superou todas as fontes. Os FAPS se igualaram ao fosfato de Gafsa e ao SSP, e estes diferiram do fosfato de Araxá. Todas as fontes foram superiores à testemunha.

Comparando calagem dentro da fonte, observa-se que todas elas, na ausência de calagem, provocaram um aumento significativo na quantidade de enxofre absorvida. Este fato é similar ao encontrado no ensaio de sorgo com solo de Anhembi e de Botucatu.

4.3.1.2 - Segundo cultivo

As produções de matéria seca encontram-se na Tabela 19. O fosfato de Gafsa foi superior aos superfosfatos. As produções dos FAPS não diferiram do fosfato de Araxá, e todas as fontes produziram mais que a testemunha. Comparando a calagem dentro das fontes, verifica-se que os superfosfatos foram superiores na presença da ca

Tabela 21 - Efeito de Fontes de fósforo sobre as quantidades de cálcio (mg/vaso) absorvido pela planta de feijão, cv. Carioca, cultivado em um LVA de Anhembi.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO		
	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média
Testemunha	0,94c	2,46f	1,70G	0,75d	1,70d	1,22D	0,63c	0,96e	0,79E
Superfosfato simples em pó	26,71b	47,46b	37,09BC	8,30b	16,18a	12,24AB	5,04b	12,47b	8,75B
Superfosfato simples granulado	22,07b	56,96a	39,51B	5,59bc	15,39a	10,49B	4,04b	9,88c	6,96BC
FA	22,94b	17,72e	20,33F	5,90bc	6,89c	6,39C	2,95bc	6,48d	4,71D
FAPS 1 mm	19,59b	29,61d	24,60EF	5,25c	8,23bc	6,74C	2,22bc	9,39c	5,80CD
FAPS 1-2 mm	25,37b	38,72bc	32,04CD	6,06bc	8,50bc	7,28C	4,11b	9,28c	6,69C
FAPS 2-3 mm	23,12b	35,54cd	29,33DE	4,96c	7,55c	6,25C	3,05bc	7,25cd	5,15CD
Fosfato de Gafsa	56,34a	46,15b	51,24A	16,10a	10,79b	13,44A	16,81a	22,55a	19,68A
MÉDIA	24,63b	34,32a		6,61ab	9,40a		4,85b	9,78a	
Valores de F:	Fontes (F) = 48,68**	Fontes (F) = 35,20**	Fontes (F) = 75,38**	Fontes (F) = 42,17**	Fontes (F) = 35,64**	Fontes (F) = 120,98**	Fontes (F) = 3,25**	Fontes (F) = 24,48	
	Calagem(C) = 42,17**	Calagem(C) = 35,64**	Calagem(C) = 120,98**	Calagem(C) = 11,73**	Calagem(C) = 12,07**	Calagem(C) = 3,25**	Calagem(C) = 23,33	Calagem(C) = 24,48	
	F x C = 11,73**	F x C = 12,07**	F x C = 3,25**	F x C = 20,25	F x C = 23,33	F x C = 24,48	F x C = 24,48	F x C = 24,48	
	C.V.% = 20,25	C.V.% = 23,33	C.V.% = 24,48	C.V.% = 20,25	C.V.% = 23,33	C.V.% = 24,48	C.V.% = 20,25	C.V.% = 24,48	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, Duncan 5%.

Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal comparam Calagem.

Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

Tabela 22 - Efeito de Fontes de fósforo sobre as quantidades de enxofre (mg/vaso) absorvidas pela planta de feijão, cv. Carioca, cultivado em um LVA de Anhembi.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO		
	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média
Testemunha	0,76d	0,55d	0,66D	0,94d	0,83d	0,89d	0,69e	0,87e	0,78E
Superfosfato simples em pó	24,53ab	8,36b	16,44B	10,80a	6,03a	8,41a	9,41b	12,42a	10,91B
Superfosfato simples granulado	28,15a	12,67a	20,41A	6,35b	5,64ab	5,99b	7,92bc	9,75bc	8,84C
FA	17,21c	3,21cd	10,20C	4,31c	3,07c	3,69c	5,43d	6,32d	5,88D
FAPS < 1 mm	24,80b	5,61bc	15,20B	6,70b	4,25bc	5,47b	4,42d	10,78ab	7,60CD
FAPS 1-2 mm	23,90b	8,59b	16,24B	5,91bc	4,17bc	5,04b	8,03bc	10,05abc	9,04C
FAPS 2-3 mm	21,97b	7,10b	14,53B	6,28b	3,87bc	5,08b	6,02cd	7,84cd	6,93D
Fosfato de Gafsa	25,06ab	6,74b	15,90B	6,80b	3,87bc	5,34b	14,09a	11,23ab	12,63A
MÉDIA	20,80a	6,60b	6,01a	3,97b	6,99b	8,66a			
Valores de F:	Fontes (F) = 53,99**	Fontes (F) = 27,72**	Fontes (F) = 38,69**	Fontes (F) = 611,49**	Fontes (F) = 51,43**	Fontes (F) = 16,81**	Fontes (F) = 13,27**	Fontes (F) = 3,23**	Fontes (F) = 5,06**
	Calagem(C) = 611,49**	Calagem(C) = 51,43**	Calagem(C) = 16,81**	Calagem(C) = 13,27**	Calagem(C) = 3,23**	Calagem(C) = 5,06**	Calagem(C) = 16,81**	Calagem(C) = 3,23**	Calagem(C) = 5,06**
	F x C = 13,27**	F x C = 3,23**	F x C = 5,06**	F x C = 16,77	F x C = 22,88	F x C = 20,76	F x C = 16,77	F x C = 22,88	F x C = 20,76
	C.V.% = 16,77	C.V.% = 22,88	C.V.% = 20,76	C.V.% = 16,77	C.V.% = 22,88	C.V.% = 20,76	C.V.% = 16,77	C.V.% = 22,88	C.V.% = 20,76

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, Duncan 5%.

Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal comparam Calagem. Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

lagem, enquanto que o fosfato de Araxã e o de Gafsa foram significativamente melhores no solo sem correção. Os FAPS e a testemunha não tiveram as suas produções diferenciadas com esta prática.

A Tabela 20 mostra as quantidades de P absorvidas pelas plantas. O fosfato de Gafsa diferiu significativamente dos FAPS e superfosfatos. Todas as fontes superaram a testemunha, Considerando a calagem, o fosfato de Gafsa e o SSG se igualaram e ambos foram superiores às demais fontes. Na omissão da calagem o fosfato de Gafsa superou todas as fontes, e os FAPS, fosfatos de Araxã e os superfosfatos foram iguais entre si e estes diferiram da testemunha.

A quantidade de cálcio absorvida pelas plantas é dada na Tabela 21. O fosfato de Araxã e os superfosfatos se igualaram e ambos diferiram dos FAPS e do fosfato de Araxã. A calagem favoreceu todas as fontes, com exceção do fosfato de Gafsa, em que houve diminuição no fornecimento.

Na Tabela 22 encontram-se as quantidades de enxofre absorvidas pelas plantas. O superfosfato simples em pó superou todas as fontes. Os FAPS, o SSG e o o fosfato de Gafsa se igualaram e diferiram do fosfato de Araxã. Quando se comparou a calagem dentro da fonte, observou-se que a absorção do enxofre foi maior em todas as fontes em que se omitiu a calagem. Este resultado concorda com o obtido no primeiro cultivo com feijão em solo de Anhembi.

4.3.1.3 - Terceiro cultivo

Na Tabela 19 encontram-se os dados de produção de matéria seca referentes aos tratamentos. Observa-se que o fosfato de Gafsa superou os superfosfatos e os FAPS, e todas as fontes utilizadas diferiram da testemunha. A calagem favoreceu de forma positiva todas as fontes. Isto pode ser devido, em parte, ao abaixamento do pH, que ocorreu nos demais tratamentos, promovendo maior ativação do Al e Mn. Este resultado se assemelha ao encontrado com o sorgo.

As quantidades de fósforo absorvidas pelas plantas (Tabela 20) acompanhou a produção de matéria seca. Indiscutivelmente a calagem favoreceu todas as fontes, aumentando a absorção quando comparadas às fontes na ausência de calagem.

Na Tabela 21 observa-se que as maiores quantidades de cálcio absorvidas pelas plantas ocorreram no tratamento com fosfato de Gafsa, que diferiu significativamente dos superfosfatos, e todas as fontes superaram a testemunha. Essa diferença no fosfato de Gafsa se deve, em parte, ao teor de CaO (40%) nele encontrado (MALAVOLTA, 1981). O FAPS (1-2 mm) diferiu do fosfato de Araxá. A calagem beneficiou todas as fontes e, dentre elas, a maior absorção ocorreu no fosfato de Gafsa, seguindo um efeito aditivo, Ca do calcário e Ca do adubo.

O enxofre absorvido pelas plantas (Tabela 22) foi maior no tratamento com fosfato de Gafsa que nas demais fontes. Os

FAPS de menor granulometria foram iguais ao SSG, enquanto que o FAPS (2-3 mm) igualou-se ao fosfato de Araxá, e todas as fontes foram superiores à testemunha. Todas as fontes tiveram melhor comportamento na presença de calagem; o SSP, FAPS e fosfato de Gafsa forneceram as mesmas quantidades de S às plantas e diferiram das demais fontes. Isto se deve ao fato de que todos os tratamentos, exceto a testemunha, receberam 60 ppm de S na forma de K_2SO_4 e $MgSO_4$ como adubo. Assim, a variação na absorção não corresponde necessariamente ao fornecido pelo adubo e, conseqüentemente, a fonte de P que garantiu maior produção de matéria seca promoveu também maior absorção de S.

4.3.1.4 - Eficiência Relativa

A Figura 15 mostra a eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas em três cultivos sucessivos. No primeiro cultivo, na ausência de calagem, a eficiência relativa média dos FAPS foi de 88% contra 84% do fosfato de Araxá, 89% do SSG e 139% do fosfato de Gafsa. De maneira geral, no segundo cultivo houve um aumento na eficiência, principalmente do fosfato natural, onde o SSG, fosfato de Araxá e de Gafsa tiveram, respectivamente, eficiência de 84%, 108% e 140%, enquanto que o FAPS teve uma eficiência média de 88%.

No terceiro cultivo a eficiência relativa das fontes diminuíram, com exceção do fosfato de Gafsa. O FAPS teve eficiência média de 69%, 65% para o fosfato de Araxá, SSG = 77% e fosfato de Gafsa igual a 185%.

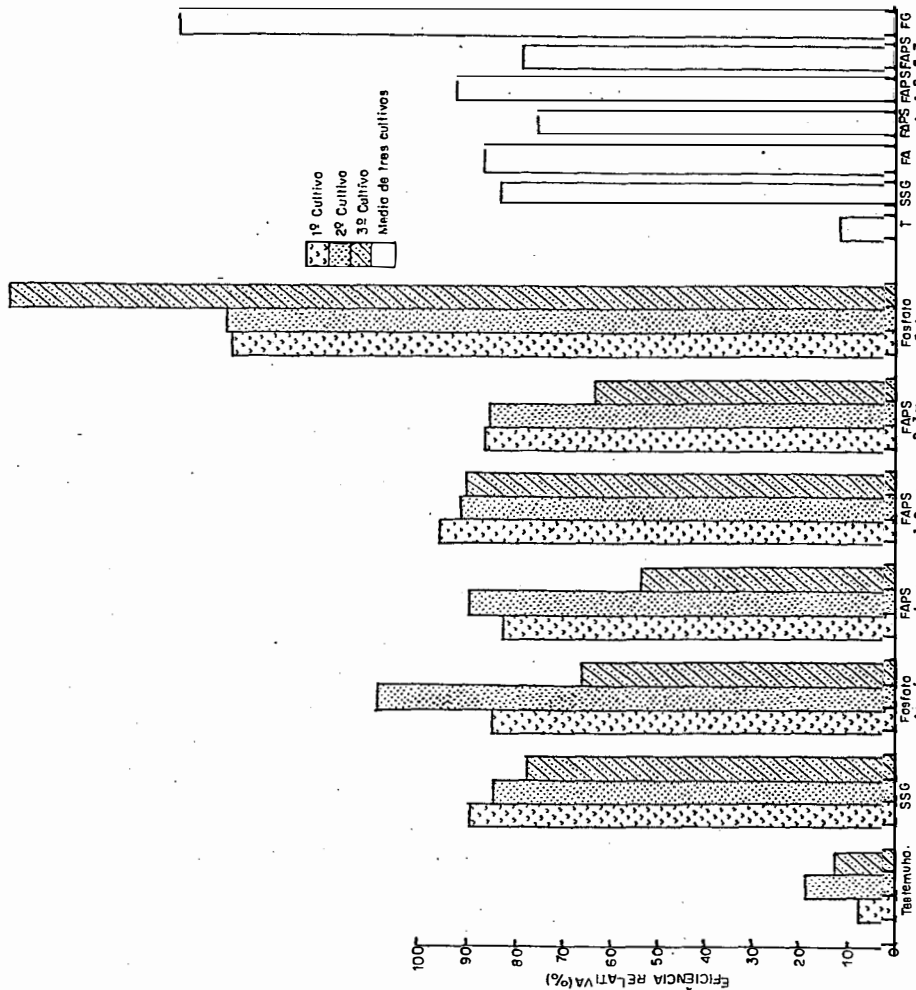


Figura 5 - Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no solo de Anhembi, sem calagem, considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato simples igual a 100 em cada cultivo.

Analisando-se as médias dos três cultivos, verifica-se a eficiência maior do fosfato de Gafsa com 150%, enquanto que o SSG, fosfato de Araxá e FAPS tiveram as mesmas eficiências, 86%.

A Figura 16 ilustra a eficiência relativa de diferentes fontes de fósforo em solo corrigido. No primeiro cultivo encontra-se, para os FAPS, uma média de 76% contra 82% do fosfato de Araxá, 105% do SSG e 93% do fosfato de Gafsa. No segundo cultivo, os FAPS foram eficientes até 66%, enquanto que os fosfatos de Araxá, de Gafsa e o SSG tiveram eficiência de 53%, 88% e 98%, respectivamente. Nota-se que nos dois primeiros cultivos (pH = 5,3) a eficiência relativa do fosfato de Gafsa foi menor quando comparados aos dois cultivos na ausência de calagem (pH = 4,8). A diminuição da eficiência relativa do fosfato de Gafsa, com aumento do pH do solo, tem como causa o efeito negativo do aumento de OH^- na solução, sobre a solubilidade deste. No terceiro cultivo, a eficiência do FAPS e do fosfato de Gafsa foram aumentadas, respectivamente, de 95% e 163%. Com o número de cultivo a eficiência do SSG caiu para 87% e o de Araxá para 60%.

A média dos três cultivos indica que a eficiência relativa do FAPS foi de 78%, bem superior ao do fosfato de Araxá (66%). Por outro lado, o SSG e o fosfato de Gafsa tiveram, respectivamente, 98% e 110% de eficiência. Comparando-se a eficiência das fontes em presença e ausência de calagem, verifica-se que o FAPS, fosfato de Araxá e de Gafsa têm a eficiência aumentada na ausência de calagem.

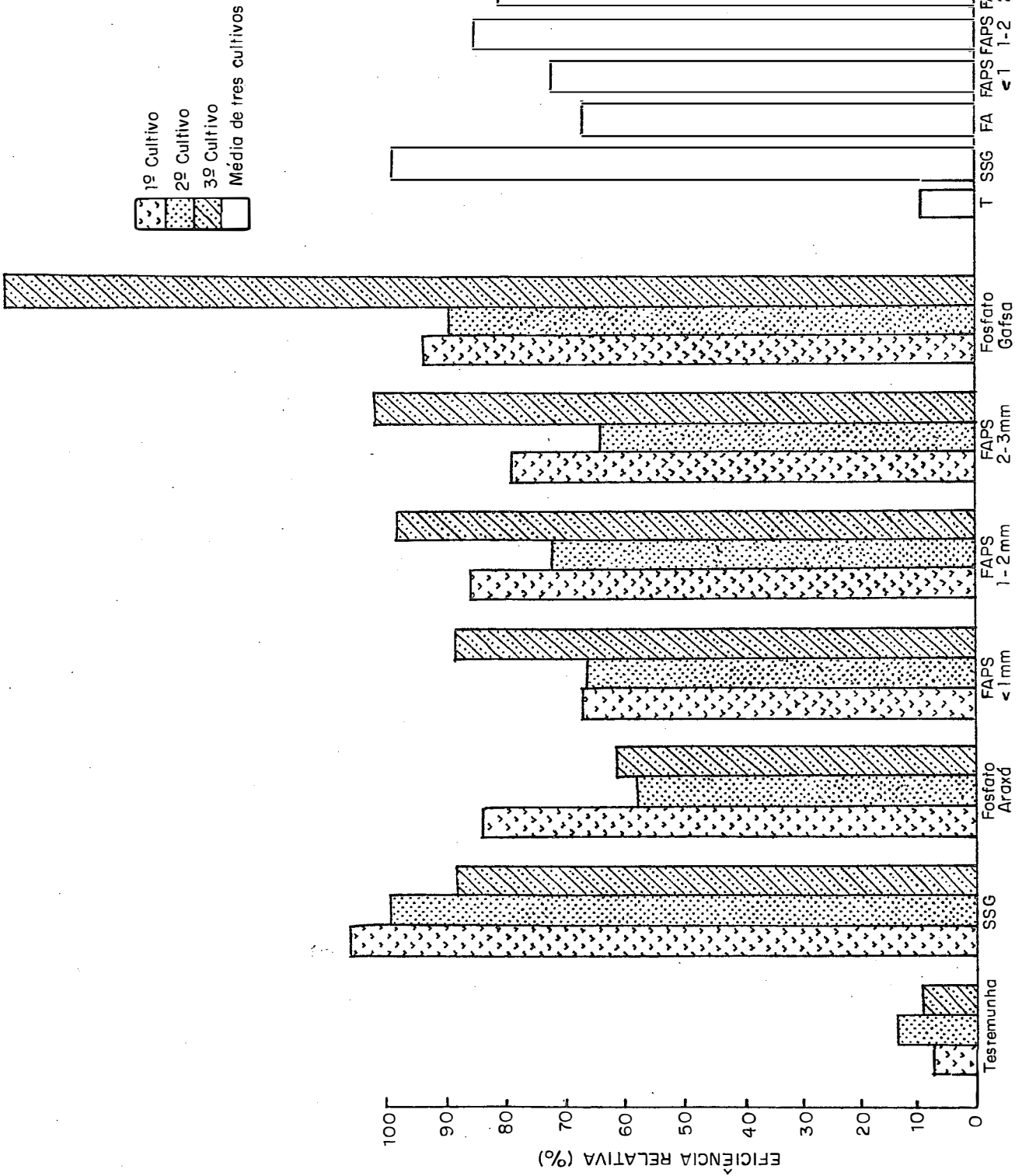


Figura 6 - Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no solo de Anhembi, com calagem considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato simples em pó, igual a 100 em cada cultivo.

4.3.1.5 - Análise do solo

A Tabela 23 mostra os dados de pH e P disponível no solo. Observa-se que o pH do solo diminuiu com o número de cultivo, tanto na ausência como na presença de calagem. O teor de P disponível aumentou na ausência da calagem para todos os tratamentos. Os superfosfatos apresentaram a maior quantidade de P disponível no solo e em todos os cultivos, quando comparado às demais fontes. Estes resultados estão relacionados com a resposta da planta em termos de produção de matéria seca e quantidades de P absorvidas, e também devido à natureza alcalina do extrator justifica o maior teor de P disponível encontrado nos tratamentos na ausência de calagem, indicando que este fósforo disponível encontra-se como P-Fe e P-Al.

As formas de P no solo encontram-se na Tabela 24. A calagem aumentou as quantidades de P solúvel em NH_4Cl e frações de P-Ca em todos os tratamentos e diminuiu as frações P-Al e P-Fe. Com relação às fontes utilizadas, predomina no superfosfato as formas de P-Fe e P-Al, enquanto que no fosfato de Araxá as frações P-Ca são maiores que P-Fe, vindo a seguir o P-Al. No FAPS predomina as formas P-Fe e P-Ca = P-Al, enquanto que no fosfato de Gafsa as quantidades das frações P-Fe são iguais a P-Al, e ambas as formas são encontradas em maiores quantidades que o P-Ca.

Tabela 23 - Valor de pH (H₂O) e teor de fósforo (µg/ml) no solo, determinado pelo método de Olsen, após o cultivo do feijão, cv. Carioca, em LVA de Anhembi.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO						SEGUNDO CULTIVO						TERCEIRO CULTIVO					
	Sem calagem			Com calagem			Sem calagem			Com calagem			Sem calagem			Com calagem		
	pH	P		pH	P		pH	P		pH	P		pH	P		pH	P	
Testemunha	5,0	1,98		5,8	0,86		4,8	5,53		5,5	2,73		4,8	4,13		5,6	1,05	
Superfosfato sim- ples em pó	4,3	112,22		4,9	100,16		4,2	69,56		4,5	51,81		4,1	78,18		4,4	60,98	
Superfosfato sim- ples granulado	4,4	86,13		4,9	56,86		4,2	66,77		4,5	60,88		4,1	74,72		4,2	57,42	
FA	4,5	14,69		5,3	6,37		4,3	23,02		4,9	12,08		4,3	19,84		4,9	11,70	
FAPS < 1 mm	4,5	39,84		5,1	34,23		4,4	40,59		4,9	29,09		4,4	31,34		4,8	25,26	
FAPS 1-2 mm	4,4	26,38		5,0	18,80		4,2	31,62		4,7	19,84		4,3	27,78		4,6	18,34	
FAPS 2-3 mm	4,3	27,78		5,0	20,95		4,3	34,80		4,8	22,18		4,3	27,88		4,9	17,78	
Fosfato Gafsa	4,8	40,87		5,5	32,93		4,8	44,61		5,1	39,93		4,6	53,96		5,0	31,34	

Tabela 24 - Quantidades de formas de P ($\mu\text{g/ml}$), encontradas no LVA de Anhembi, cultivado com feijão, na presença e ausência de calagem. Terceiro cultivo (média de duas repetições).

TRATAMENTOS	Fósforo solúvel em NH_4Cl		Fósforo ligado a Alumínio		Fósforo ligado a Ferro		Fósforo ligado a Cálcio		P Total	
	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Testemunha	2,92	2,92	30,60	33,85	111,87	99,24	1,18	8,55	146,57	144,54
Superfosfato simples em pó	9,71	24,98	102,21	144,53	146,59	130,81	10,77	30,68	269,28	331,00
Superfosfato simples granulado	24,98	41,95	89,19	85,04	167,42	146,59	5,61	10,62	287,20	284,20
Fosfato de Araxá	16,50	16,50	73,16	52,08	159,22	116,92	174,48	192,92	423,36	301,53
FAPS < 1 mm	16,50	16,50	82,68	56,64	134,59	127,65	97,05	100,74	330,82	301,53
FAPS 1-2 mm	18,19	24,98	69,91	59,89	167,42	174,99	63,86	67,55	319,38	327,41
FAPS 2-3 mm	16,50	16,50	79,92	56,64	263,38	197,09	63,89	63,86	423,69	334,09
Fosfato de Gafsa	16,50	24,98	115,23	105,47	162,37	149,75	56,64	97,34	350,74	377,54

4.3.2 - Solo Botucatu

4.3.2.1 - Primeiro cultivo

As produções de matéria seca no primeiro cultivo encontram-se na Tabela 25. O fosfato de Gafsa foi significativamente superior às demais fontes. Os FAPS e os superfosfatos tiveram as mesmas produções e foram superiores ao fosfato de Araxá e este, por sua vez, diferiu da testemunha. Todas as fontes dentro da calagem, exceção do fosfato de Araxá e testemunha, tiveram as mesmas produções de matéria seca, mas quanto ao comportamento das fontes na ausência da calagem, observa-se que o fosfato de Gafsa ocasionou maior produção, possivelmente pelas mesmas razões já discutidas anteriormente em outros cultivos. Os FAPS e os superfosfatos não diferiram na produção e foram superiores à testemunha. Não houve efeito da calagem.

A quantidade de fósforo absorvida pelas plantas nos tratamentos com superfosfatos e fosfatos de Gafsa não diferiram entre si (Tabela 26). Os FAPS diferiram do fosfato de Araxá e este da testemunha. Não houve efeito para calagem e fontes dentro de calagem.

As plantas absorveram maior quantidade de cálcio do fosfato de Gafsa (Tabela 27) que de outras fontes, tanto na presença ou ausência de calagem, onde, possivelmente, esse cálcio é proveniente do calcário e do adubo, respectivamente. Os FAPS foram signi

Tabela 25 - Efeito de fontes de fósforo na produção de matéria seca (g/vaso) pela planta de feijão, cv. Carioca, conduzidos em casa de vegetação utilizando LE de Botucatu. Média de quatro repetições.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO		
	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média
Testemunha	1,76c	2,47b	2,12D	3,33d	3,56d	3,44D	2,73d	2,84d	2,78E
Superfosfato simples em pó	19,67b	24,28a	21,98B	13,11a	15,41ab	14,26A	16,16b	22,91a	19,54A
Superfosfato simples granulado	22,71b	25,29a	24,00B	12,16ab	15,16ab	13,66A	15,04b	21,48ab	18,26A
FA	7,35c	4,89b	6,12C	10,41bc	8,95c	9,68BC	10,89c	18,89b	14,89C
FAPS < 1 mm	20,95b	20,99a	20,97B	7,88c	10,42c	9,15BC	11,32c	21,02ab	16,17B
FAPS 1-2 mm	23,40b	25,83a	24,61B	8,99c	12,96b	10,97B	9,94c	18,48b	14,21C
FAPS 2-3 mm	18,35b	26,92a	22,63B	8,10c	9,05c	8,57C	3,37d	12,51c	7,94D
Fosfato de Gafsa	30,40a	22,99a	26,69A	12,49ab	15,92a	14,21A	22,85a	18,76b	20,30A
MÉDIA	18,07a	19,21a		9,56ab	11,43a		11,41b	17,11a	

Valores de F: Fontes (F) = 41,22** Fontes (F) = 36,24** Fontes (F) = 69,76**
 Calagem(C) = 1,25ns Calagem(C) = 18,85** Calagem(C) = 123,88**
 F x C = 2,76* F x C = 2,25* F x C = 10,30**
 C.V.% = 21,73 C.V.% = 16,42 C.V.% = 14,36

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, Duncan 5%.
 Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal comparam Calagem.
 Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

Tabela 26 - Efeito de Fontes de fósforo sobre as quantidades de fósforo (mg/vaso) absorvidas pelas plantas de feijão, cv. Carioca, cultivado em um LE de Botucatu.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO		
	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média
Testemunha	0,41	0,63	0,52D	0,66	0,70	0,68D	0,96c	0,83d	0,89E
Superfosfato simples em pó	8,33	10,58	9,45A	4,16	5,48	4,82A	8,06b	11,50b	9,78B
Superfosfato simples granulado	9,42	10,34	9,88A	4,03	5,15	4,59A	8,00b	10,55bc	9,27BC
FA	4,85	2,55	3,70C	2,79	3,13	2,96BC	6,79b	10,60bc	8,69BC
FAPS < 1 mm	7,30	6,65	6,97B	2,53	3,57	3,05BC	7,30b	12,06b	9,68B
FAPS 1-2 mm	7,28	4,88	6,08B	3,07	4,19	3,63B	6,38b	8,96c	7,67C
FAPS 2-3 mm	6,15	6,83	6,49B	2,79	2,88	2,83C	2,05c	8,36c	5,20D
Fosfato de Gafsa	9,95	9,00	9,48A	5,34	5,24	5,29A	21,12a	17,83a	19,48A
MÉDIA	6,71a	6,43a		3,17ab	3,79a		7,58b	10,09a	
Valores de F:	Fontes (F) = 32,48**	Fontes (F) = 34,12**	Fontes (F) = 90,35**	Calagem(C) = 0,48ns	Calagem(C) = 12,23**	Calagem(C) = 41,16**	F x C = 2,02ns	F x C = 1,35ns	F x C = 7,35**
	C.V.% = 24,39	C.V.% = 20,38	C.V.% = 17,68						

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, Duncan 5%.

Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal comparam Calagem.

Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

Tabela 27 - Efeito de Fontes de fósforo sobre as quantidades de cálcio (mg/vaso) absorvidas pela planta de feijão, cv. Carioca, cultivado em um LE de Botucatu.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO		
	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média
Testemunha	0,87e	3,98d	2,42E	0,83d	1,53c	1,18D	0,99d	1,22g	1,11G
Superfosfato simples em pó	22,80bc	41,40a	32,10BC	5,63b	13,10a	9,37B	6,20b	13,59bc	9,89C
Superfosfato simples granulado	26,99b	46,69a	36,84B	4,41bc	12,09a	8,25B	6,31b	16,20a	11,26B
FA	6,33de	6,82d	6,58E	4,95b	5,70b	5,32C	3,40c	11,37d	7,68D
FAPS < 1 mm	18,42bc	30,78bc	24,60D	2,37d	1,48c	1,92D	3,75c	12,06cd	7,90D
FAPS 1-2 mm	21,66bc	21,69c	21,68D	2,61cd	12,66a	7,64B	3,20c	8,77e	5,98E
FAPS 2-3 mm	15,85cd	38,31ab	27,08CD	2,46d	7,25b	4,85C	0,76d	6,15f	3,45F
Fosfato de Gafsa	46,34a	45,18a	45,76A	10,87a	13,77a	12,32A	14,63a	14,23b	14,43A
MÉDIA	19,91b	29,35a		4,26b	8,45a		4,98b	10,45a	
Valores de F:	Fontes (F) = 36,06**	Fontes (F) = 70,08**	Fontes (F) = 85,47**	Fontes (F) = 36,06**	Fontes (F) = 70,08**	Fontes (F) = 85,47**	Fontes (F) = 36,06**	Fontes (F) = 70,08**	Fontes (F) = 85,47**
	Calagem(C) = 30,32**	Calagem(C) = 172,29**	Calagem(C) = 281,42**	Calagem(C) = 30,32**	Calagem(C) = 172,29**	Calagem(C) = 281,42**	Calagem(C) = 30,32**	Calagem(C) = 172,29**	Calagem(C) = 281,42**
	F x C = 4,18**	F x C = 19,17**	F x C = 16,26**	F x C = 4,18**	F x C = 19,17**	F x C = 16,26**	F x C = 4,18**	F x C = 19,17**	F x C = 16,26**
	C.V.% = 27,86	C.V.% = 20,05	C.V.% = 16,91	C.V.% = 27,86	C.V.% = 20,05	C.V.% = 16,91	C.V.% = 27,86	C.V.% = 20,05	C.V.% = 16,91

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, Duncan 5%.

Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal comparam Calagem.

Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

ficativamente superiores ao fosfato de Araxá e à testemunha. Houve diferenças para a calagem dentro de fontes, para todos os tratamentos, exceto para o FAPS (1-2 mm) e os fosfatos de Araxá e de Gafsa:

As quantidades de enxofre absorvida pelas plantas são dadas na Tabela 28. O SSG superou todas as fontes. O FAPS teve o mesmo comportamento do SSP, e ambos foram superiores à testemunha. A maior absorção de enxofre para todas as fontes ocorreu quando se omitiu a calagem.

4.3.2.2 - Segundo cultivo

No segundo cultivo, quando se consideraram as médias, as maiores produções de matéria seca foram obtidas com os superfosfatos e o fosfato de Gafsa, e ambos diferiram da testemunha (Tabela 25). Os FAPS de menor granulometria produziram igualmente ao fosfato de Araxá. Para a calagem dentro de fontes, todas as fontes, com exceção da testemunha e do fosfato de Gafsa produziram mais matéria seca na presença de calagem.

A absorção de P pelas plantas (Tabela 26) acompanhou a produção de matéria seca, onde os superfosfatos e fosfato de Gafsa superaram a testemunha. A absorção do P para todas as fontes foi maior com calagem, isto sugere que a correção da acidez promoveu maior liberação do P não disponível do solo.

Tabela 28 - Efeito de Fontes de fósforo sobre as quantidades de enxofre (mg/vaso) absorvidas pela planta de feijão, cv. Carioca, cultivado em um LE de Botucatu.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO			SEGUNDO CULTIVO			TERCEIRO CULTIVO		
	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média	Sem calagem	Com calagem	Média
Testemunha	1,06e	1,09d	1,07D	0,96d	1,01b	0,99D	1,25d	1,04e	1,14D
Superfosfato simples em pó	21,00bcd	9,93b	15,47B	5,24a	5,30a	5,27A	6,43b	5,21cd	5,82B
Superfosfato simples granulado	28,11a	18,24a	23,17A	5,28a	5,10a	5,19A	5,84b	7,33a	6,58B
FA	3,86e	1,77d	2,82D	3,31bc	2,28b	2,79C	3,75c	3,96d	3,85C
FAPS 1 mm	17,80d	8,31bc	13,00C	2,82c	2,03b	2,42C	4,06c	4,75cd	4,40C
FAPS 1-2 mm	21,92bc	8,71bc	15,21B	3,59bc	5,12a	4,35B	3,76c	7,63a	5,69B
FAPS 2-3 mm	23,24b	11,24b	17,24B	3,30bc	4,17a	3,73B	2,15d	5,65bc	3,90C
Fosfato de Gafsa	18,61cd	5,75c	12,18G	4,76ab	2,33b	3,54B	9,72a	6,77ab	8,25A
MÉDIA	16,95a	8,12b		3,66a	3,42a		4,62b	5,29a	
Valores de F:	Fontes (F) = 85,68**	Fontes (F) = 15,13**	Fontes (F) = 50,24**	Calagem(C) = 247,76**	Calagem(C) = 0,83ns	Calagem(C) = 10,00**	F x C = 9,98**	F x C = 14,41**	F x C = 14,41**
	C.V.% = 17,91	C.V.% = 29,84	C.V.% = 17,20						

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, Duncan 5%.

Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal comparam Calagem. Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

O fosfato de Gafsa forneceu mais cálcio para as plantas (Tabela 27) que as demais fontes, quando se analisam as médias. O FAPS (1-2 mm) teve o mesmo comportamento que os superfosfatos e diferiram da testemunha. A calagem favoreceu significativamente todas as fontes, contribuindo na absorção do cálcio.

O enxofre absorvido pelas plantas (Tabela 28) foi maior nos superfosfatos, diferindo de outras fontes. Os FAPS de maior granulometria foram iguais ao fosfato de Gafsa, enquanto que o de menor granulometria se equiparou ao fosfato de Araxá. Todas as fontes diferiram da testemunha quando se analisaram as médias.

O comportamento das fontes dentro da calagem indicou que os superfosfatos e os FAPS de maior granulometria se igualaram e diferiram das demais fontes e da testemunha, enquanto que, na ausência da calagem os superfosfatos e o fosfato de Gafsa foram melhores que a testemunha.

4.3.2.3 - Terceiro cultivo

As produções de matéria seca encontram-se na Tabela 25. As fontes fosfato de Gafsa e superfosfatos proporcionaram as miores produções de matéria seca. Os FAPS produziram significativamente em função das suas granulometrias, ou seja, FAPS (< 1 mm) > FAPS (1-2 mm) > FAPS (2-3 mm). O FAPS (1-2 mm) teve a mesma produção que o fosfato de Araxá, e ambos diferiram da testemunha. Para as fontes dentro de calagem, os superfosfatos e o FAPS (< 1 mm) não diferiram

entre si e foram superiores às demais fontes. O FAPS (1-2 mm), o fosfato de Araxá e o fosfato de Gafsa tiveram produções iguais e diferiram da testemunha. Na calagem dentro da fonte, todos os tratamentos se beneficiaram com a calagem, exceto o fosfato de Gafsa.

As quantidades de fósforo absorvidas pelas plantas (Tabela 26) acompanharam as produções de matéria seca, tanto para fontes, como para interações.

A quantidade de cálcio absorvida pelas plantas (Tabela 27), no tratamento com fosfato de Gafsa, foi superior à testemunha. O FAPS (< 1 mm) igualou-se ao fosfato de Araxá, e ambos diferiram das demais fontes.

Houve diferença altamente significativa para a calagem dentro de todas as fontes, exceto para o fosfato de Gafsa, que respondeu independentemente da calagem, ou seja, o H^+ da solução contribuiu na solubilização do fosfato, tornando o P e o Ca do adubo disponível.

As plantas absorveram as maiores quantidades de enxofre em presença do fosfato de Gafsa (Tabela 28); este tratamento superou todas as demais fontes. O FAPS (1-2 mm) se igualou aos superfosfatos e ambos diferiram da testemunha. O fosfato de Araxá e os FAPS comportaram-se igualmente, sendo superiores à testemunha.

4.3.2.4 - Eficiência relativa

As Figuras 7 e 8 ilustram a eficiência relativa das fontes fosfatadas em solo sem e com calagem, respectivamente.

Na Figura 7 observa-se que nos três cultivos a eficiência relativa do FAPS diminuiu com o cultivo, de 106%, 64% e 51%, enquanto que para o fosfato de Araxá houve um aumento de 37%, 79% e 67%.

Por outro lado, a média dos três cultivos forneceram uma eficiência para o FAPS de 76% e 59% para o fosfato de Araxá. A maior eficiência foi conseguida com o fosfato de Gafsa (132%).

A Figura 8 mostra que a eficiência do fosfato de Araxá é aumentada com o número de cultivo, enquanto que no FAPS é diminuída. O fosfato de Gafsa tem a sua eficiência diminuída com a calagem, o mesmo não acontecendo com o superfosfato simples granulado.

A calagem em média aumentou a eficiência do FAPS em 84% e diminuiu a do fosfato de Araxá em 52% e do fosfato de Gafsa em 92%. Os superfosfatos foram beneficiados com essa correção.

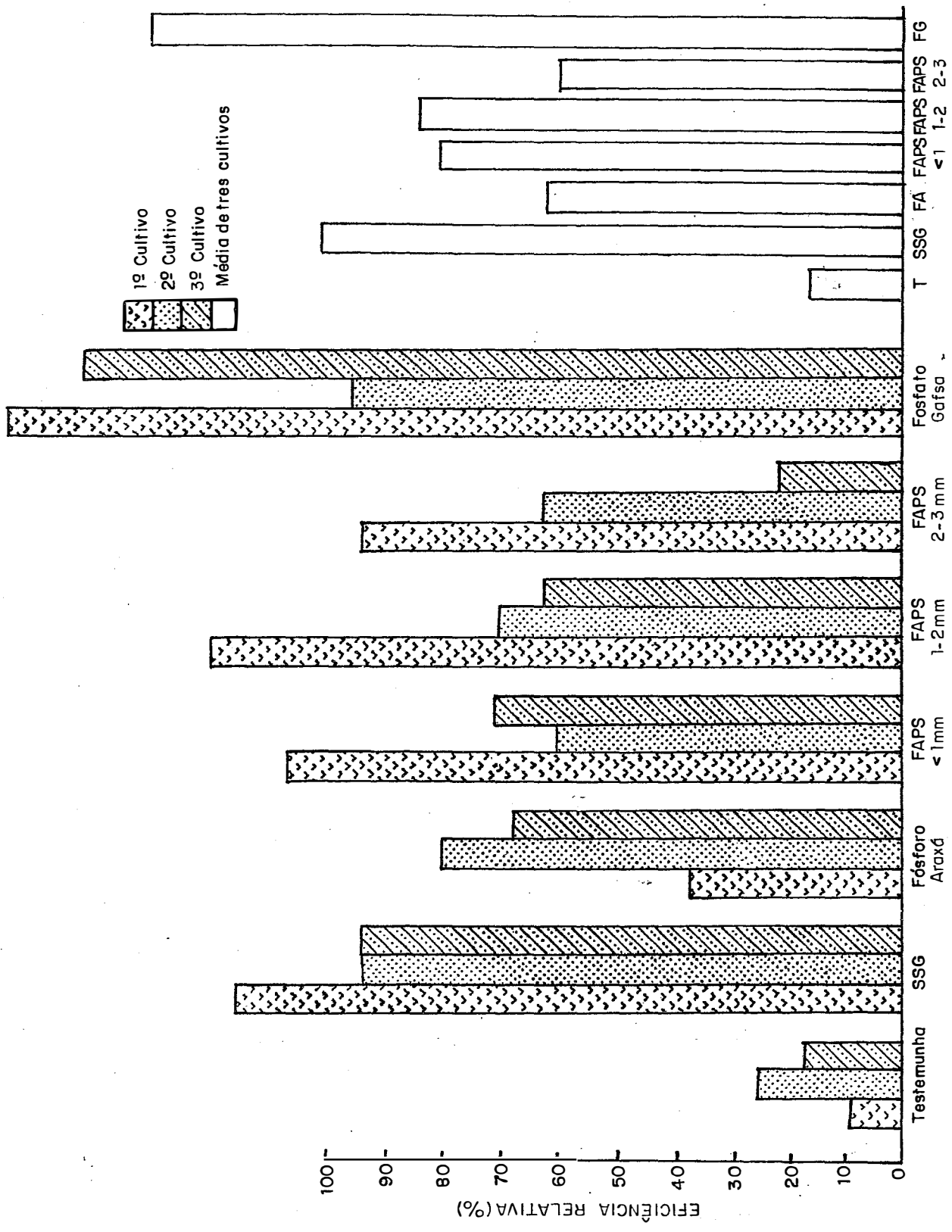


Figura 7 - Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no solo de Botucatu, sem calagem, considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato simples em pó igual a 100 em cada cultivo.

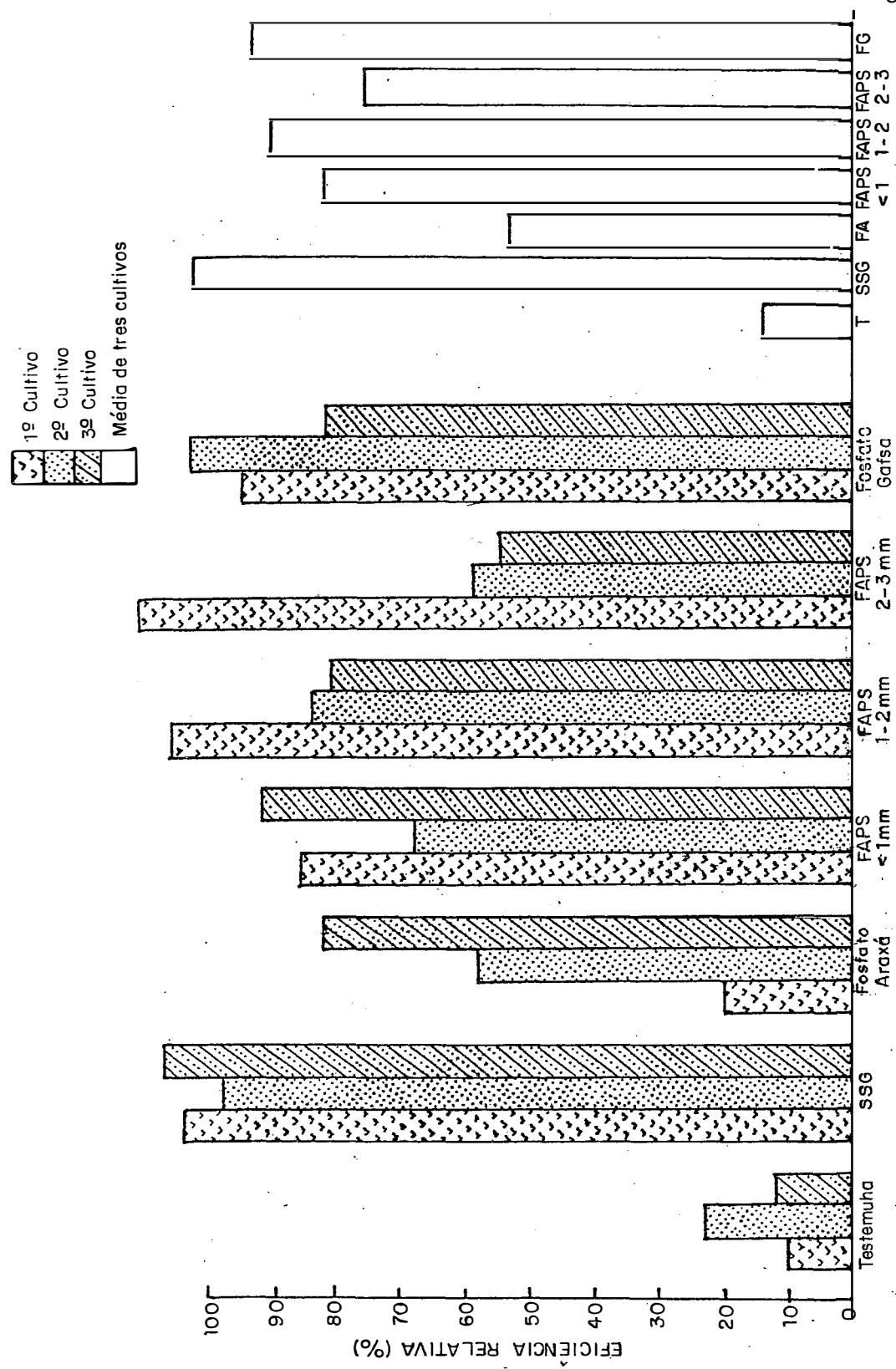


Figura 8 - Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no solo de Botucatu, com calagem, considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato simples em pô igual a 100 em cada cultivo.

4.3.2.5 - Análise de solo

O valor do pH e o teor de fósforo no solo encontram-se na Tabela 29. Em todos os tratamentos os valores de pH diminuíram com o número de cultivo. Os teores de fósforo encontrados nos tratamentos sem calagem foram mais altos e todas as fontes diferiram da testemunha. Estes resultados concordam com os obtidos em outro ensaio.

A Tabela 30 apresenta as diferentes formas de P no solo. De maneira geral, a sequência de frações de P obedecem a seguinte ordem decrescente: P-Fe > P-Al > P-Ca > P solúvel em NH_4Cl . No SSP as quantidades de P-Fe e P-Al são maiores do que no SSG, possivelmente, está relacionada com o aumento da área de contato do grânulo do adubo com o solo, promovendo maior reação com os sesquióxidos de Fe e Al, conseqüentemente, maiores quantidades de frações ligadas irão se formar.

A calagem aumenta as quantidades de P-Ca para os FAPS e os fosfatos de Araxá e de Gafsa, mas, por outro lado, na ausência de calagem, as frações P-Fe e P-Al são encontradas em maior quantidade em todas as fontes, com exceção do fosfato de Gafsa.

Tabela 29 - Valor de PH (M_2O) e teor de fósforo ($\mu\text{g/ml}$) no solo, determinado pelo método de Olsen, após o cultivo do feijão, cv. Carioca, em LE de Botucatu.

TRATAMENTOS	PRIMEIRO CULTIVO						SEGUNDO CULTIVO						TERCEIRO CULTIVO					
	Sem calagem			Com calagem			Sem calagem			Com calagem			Sem calagem			Com calagem		
	PH	F	P	PH	P	P	PH	P	P	PH	P	P	PH	P	P	PH	P	P
Testemunha	4,8	3,66	5,7	0,48	4,5	1,80	4,4	1,05	4,4	3,67	4,4	2,26						
Superfosfato sim- ples em pó	4,4	35,26	5,4	30,96	4,3	82,67	4,8	62,75	4,2	76,78	4,6	49,10						
Superfosfato sim- ples granulado	4,2	60,88	5,0	57,33	4,3	56,86	4,8	64,62	4,3	72,57	4,5	47,61						
FA	5,0	13,11	5,9	1,98	4,5	18,25	5,4	5,07	4,5	16,19	5,0	4,97						
FAPS < 1 mm	4,5	44,61	5,3	29,75	4,5	54,80	5,0	38,91	4,2	38,17	4,5	19,47						
FAPS 1-2 mm	4,3	27,78	5,4	21,62	4,3	48,35	4,9	28,25	4,3	25,54	4,8	3,29						
FAPS 2-3 mm	4,5	29,75	5,3	21,06	4,4	35,64	4,8	15,63	4,4	21,52	4,9	44,71						
Fosfato Gafsa	4,8	46,11	5,6	27,97	5,2	40,87	5,2	16,19	4,9	16,75	5,2	14,10						

Tabela 30 - Quantidades de formas de P ($\mu\text{g/ml}$) encontradas no LE de Botucatu, cultivado com feijão na presença e ausência de calagem. Terceiro cultivo (média de duas repetições).

TRATAMENTOS	Fósforo solúvel em NH_4Cl		Fósforo ligado a Alumínio		Fósforo ligado a Ferro		Fósforo ligado a Cálcio		P Total	
	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Testemunha	16,50	15,60	43,62	33,85	99,24	86,62	1,18	1,18	160,54	137,25
Superfosfato simples em pó	16,50	16,50	118,49	102,21	184,47	181,31	12,54	8,85	332,00	308,87
Superfosfato simples granulado	16,50	16,50	85,94	92,45	149,75	148,48	16,22	16,22	268,41	273,65
Fosfato de Araxá	24,98	33,47	59,89	40,36	225,50	206,56	60,32	67,84	316,89	348,23
FAPS < 1 mm	33,47	33,47	82,68	72,92	206,56	98,99	64,01	89,97	386,72	295,35
FAPS 1-2 mm	50,44	67,41	75,11	63,15	212,88	222,35	178,46	215,19	516,89	568,10
FAPS 2-3 mm	33,47	33,47	89,19	61,85	187,62	137,12	97,05	100,74	407,33	333,18
Fosfato de Gafsa	50,44	50,44	105,47	111,98	137,12	156,06	97,05	100,74	390,08	419,22

5. CONCLUSÕES

a) Eficiência Relativa

A eficiência das fontes no fornecimento de P para as plantas de sorgo sacarino, no solo de Anhembi, com e sem calagem, encontra-se em ordem decrescente, considerando-se a média dos três cultivos:

Sem calagem: SSP > FG > SSG > FAPS (1-2 mm) = FAPS (< 1 mm) >
> FAPS (2-3 mm) > FA > T;

Com calagem: SSP > FAPS (< 1 mm) > SSG > FG > FAPS (1-2 mm) >
> FAPS (2-3 mm) > FA > T.

Para o solo de Botucatu tem-se:

Sem calagem: FG > SSP > SSG > FAPS (1-2 mm) > FAPS (< 1 mm) >
> FAPS (2-3 mm) > FA > T;

Com calagem: FAPS (2-3 mm) > FAPS (< 1 mm) > SSP > SSG > FAPS
(1-2 mm) > FG > FA > T.

Por outro lado, a eficiência das fontes se modifica quando se utilizam plantas de feijão, no solo de Anhembi, em função da calagem, na seguinte ordem decrescente:

Sem calagem: FG > SSP > FAPS (1-2 mm) > SSG > FA > FAPS (2-3 mm)
> FAPS (< 1 mm) > T;

Com calagem: FG > SSP > SSG > FAPS (1-2 mm) > FAPS (2-3 mm) >
> FAPS (< 1 mm) > FA > T.

Para o solo de Botucatu, obteve-se:

Sem calagem: FG > SSP = SSG > FAPS (1-2 mm) > FAPS (< 1 mm) >
> FAPS (2-3 mm) > FA > T;

Com calagem: SSG > SSP > FG = FAPS (1-2 mm) > FAPS (< 1 mm) >
> FAPS (2-3 mm) > FA > T.

Não se considerando o tipo de solo, calagem e a cultura empregada e nem a granulometria dos FAPS, obteve-se as seguintes eficiências relativas médias:

SS = 100

FAPS = 84,79

FG = 112,91

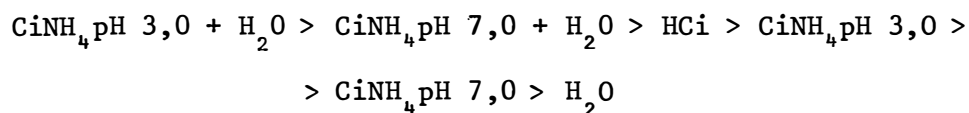
FA = 44,86 .

De maneira geral, pois, a eficiência dos FAPS é menor quando comparada aos superfosfatos e fosfato de Gafsa, mas superior à do fosfato de Araxá.

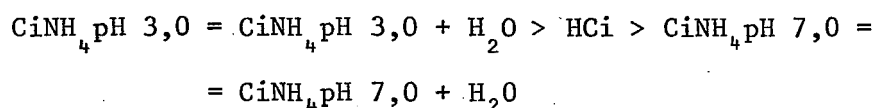
b) Solubilidade

b.1) Solubilidade das fontes, utilizando os seguintes extratos: Água (H_2O); Ácido cítrico 2% (HCl); Citrato de Amônio pH 3,0 ($CiNH_4$ pH 3,0); Citrato de Amônio pH 7,0 ($CiNH_4$ pH 7,0); Citrato de amônio pH 3,0 + Água ($CiNH_4$ pH 3,0 + H_2O); Citrato de Amônio pH 7,0 + Água ($CiNH_4$ pH 7,0 + H_2O), encontram-se abaixo:

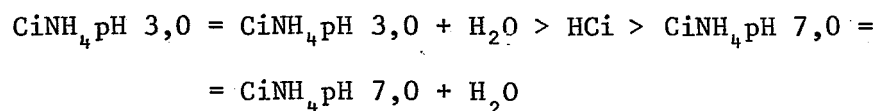
FAPS:



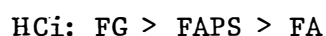
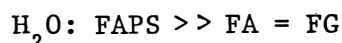
Fosfato de Araxá (FA):



Fosfato de Gafsa (FG):



b.2) Quantidade de P extraída na relação 1:100:



CiNH_4 pH 7,0: FAPS = FG > FA

CiNH_4 pH 3,0: FG > FA > FAPS

CiNH_4 pH 7,0 + H_2O : FAPS > FG > FA

CiNH_4 pH 3,0 + H_2O : FG > FAPS > FA

c) Relação entre Solubilidade e Eficiência Relativa Média

Considerando-se a eficiência relativa média calculada anteriormente e as quantidades de P dissolvidas pelos diferentes extratores, verifica-se que a melhor diferenciação entre as fontes foi dada pelos extratores ácido cítrico 2% e solução de citrato de amônio pH 3,0 + água, para os dois tipos de solos e cultura.

d) Destino do P das Diferentes Fontes

d.1) Fracionamento

Para os tratamentos testemunha, superfosfato simples em pó e granulado, houve uniformidade na sequência da distribuição das diferentes frações de P no solo de Anhembi e de Botucatu com sorgo, independentemente da calagem: P-Fe > P-Al > P solúvel em NH_4Cl > P-Ca. Enquanto que no tratamento com fosfato de Araxá ocorreu uma inversão do P-Ca pelo P-Fe, que passou a ser maior na presença de calagem: P-Ca > P-Fe > P-Al > P solúvel em NH_4Cl . Os FAPS tiveram a seguinte sequência independente da calagem: P-Fe > P-Al > P-Ca > P solúvel em NH_4Cl , enquanto que para o fosfato de Gafsa sem calagem

houve inversão: o P solúvel em NH_4Cl passou a ser maior que o P-Ca, onde a concentração de H^+ da solução está favorecendo a solubilização do fosfato.

Utilizando plantas de feijão no solo de Anhembi, verifica-se para os tratamentos testemunha, superfosfatos simples em pó e granulado que predominaram as frações de P-Fe e P-Al sobre as demais, independente da correção do solo. No fosfato de Araxá, tem-se: $\text{P-Ca} > \text{P-Fe} > \text{P-Al} > \text{P solúvel em } \text{NH}_4\text{Cl}$, também independente da calagem. Nos tratamentos utilizando-se FAPS com calagem, houve apenas uma inversão passando o P-Ca a ser maior que o P-Al: $\text{P-Fe} > \text{P-Ca} > \text{P-Al} > \text{P solúvel } \text{NH}_4\text{Cl}$, o mesmo acontece no solo de Botucatu com estas fontes. No caso do fosfato de Araxá tem-se $\text{P-Fe} > \text{P-Ca} > \text{P-Al} > \text{P solúvel em } \text{NH}_4\text{Cl}$, independente da calagem, enquanto que nos demais tratamentos predominaram P-Fe sobre P-Al.

Em resumo, pode-se dizer, pois, que o FAPS teve um comportamento mais semelhante ao do superfosfato simples que do fosfato de Araxá.

d.2) P disponível residual

Os teores de P disponível (solubilidade em NaHCO_3 0,5 M pH 8,5 encontrados no fim do experimento sugeriram que as diferentes fontes têm um efeito residual obedecendo à seguinte ordem:

Solo Anhembi:

Sem calagem: SS > FG > FAPS > FA

Com calagem: SS > FAPS > FG > FA

Solo Botucatu:

Sem calagem: SS > FAPS > FG > FA

Com calagem: SS > FAPS > FG > FA

e) Comportamento do FAPS

Os dados de produção de matéria seca, da análise das plantas e dos solos, mostraram que o FAPS como fonte de P teve um comportamento geral mais próximo daquele do SS que daquele do FA que lhe deu origem.

6. LITERATURA CITADA

- ALCARDE, J.C.; R.A. CATANI e A.S. ALCARDE, 1975. Solubilidade dos fosfatos naturais em solução de ácido fórmico a 2%. Anais da E. S.A. "Luiz de Queiroz". Piracicaba, XXXII: 705-715.
- ALCARDE, J.C., 1978. Determinação do Fósforo em Fertilizantes. Ed. Associação Nacional para Difusão de Adubos. São Paulo. 43 p.
- ANDA, 1978. Setor Fertilizantes. São Paulo, mimeo.
- ANÔNIMO, 1979. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. In: Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - 1977/79. Planaltina, V. 3. p. 1-195.
- ARMINGER, W.H. e M. FRIED, 1957. The plant availability of various sources of phosphate rock. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 2(2): 183-188.
- ASHBY, D.L.; W.E. FENSTER e O.J. ATTOE, 1966. Effect of partial acidulation and elemental sulfur on availability of Phosphorus in rock phosphate. Agron. J. 58: 621-25.

- BARRETO, A.C., 1977. Efeito da acidulação parcial de misturas com superfosfato triplo e enxofre e da granulação na eficiência de fosfatos naturais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 64 p. (Dissertação de Mestrado).
- BRAGA, J.M., 1970. Resultados experimentais com o uso de fosfato de Araxá e outras fontes de fósforo. Boletim Técnico 21. Universidade Federal de Viçosa. p. 1-61.
- CANTARUTTI, R.B.; J.M. BRAGA; R.F. NOVAIS e J.T.L. THIEBAUT, 1981. Época de aplicação de fosfato natural em relação a calagem, num solo com elevado teor de alumínio trocável. R. Bras. Ci. Solo, 5: 129-133.
- CATANI, R.A., 1970. A solubilidade de fosfatos naturais em adubação de ácido cítrico a 2%, na proporção de 1:200. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz". Piracicaba, XXVII: 1-14.
- CATANI, R.A.; A.C. NASCIMENTO e N.A. COSTA, 1956. Fertilizantes fosfatados. Classificação e interpretação dos resultados analíticos. Anais da Quarta Reunião Brasileira de Ciência do Solo, p. 49-64.
- CEFER, 1979. Caracterização tecnológica de fosfatos brasileiros - Tecnologia. Fertilizantes 1: 4-6.
- CHIEN, S.H., 1977. Dissolution of phosphate rocks in a flooded acid soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 1106-1109.
- DASH, R.N.; S.K. MOHANTY e S. PATNAIK, 1981. Efficiency of HCl- and H₂SO₄- acidulated rock phosphates for a rice based cropping system. Fertilizer Research 2: 109-118.

- DYNIA, J.F.; S.J. VOLKWEISS e J.C. STAMMEL, 1978. Efeito do pH e da capacidade de retenção de fósforo dos solos na eficiência de adubos fosfatados. Informativo Interno nº 02-78, p. 1-11 (Mimeografado).
- FASSBENDER, H.W., 1978. Química de suelos con énfasis en suelos de America Latina. San José. Ed. Matilde de la Cruz. 398 p.
- FERREIRA, T.N. e J. KAMINSKI, 1979. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais de Patos de Minas e Gafsa puros e modificados por acidulação e calcinação. R. Bras. Cienc. Solo 3: 158-162.
- FRANCO, M., 1977. Fosfatos naturais parcialmente acidulados com H_3PO_4 , HCl e H_2SO_4 na cultura de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), em um solo de cerrado. Ituiutaba. MG. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 75 p. (Dissertação de Mestrado em Fitotecnia).
- GABOUCHEV, I., 1974. The efficiency of concentrated and certain under acidulated superfosfates. Soil Sci. Agrochem. 9(5): 46-54.
- GOEDERT, W.J. e E. LOBATO, 1980. Eficiência agronômica de fosfatos em solos de cerrado. Pesq. Agropec. Bras. Brasília, 15(3): 311-318.
- HALSTEAD, R.L., 1967. Chemical availability of native and applied phosphorus in soils and their textural fractions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31(3): 414-419.
- HAMMOND, L.L.; S.H. CHIEN e J.R. POLO, 1980. Phosphorus availability from partial acidulation of two phosphate rocks. Fertilizer Research 1(1): 37-49.

- HSU, P.H. e M.L. JACKSON, 1960. Inorganic phosphate transformations by chemical weathering in soils as influenced by pH. Soil Sci. 90(1): 16-24.
- JACOB, K.D. e W.L. HILL, 1953. Laboratory evaluation of phosphate fertilizers. In: Soil and Fertilizer Phosphorus in Crop Nutrition. New York, Academic Press Inc. Publishers. p. 299-345.
- KAMPRATH, E.J., 1976. Phosphorus fixation and availability in highly weathered soils. In: FERRI, M.G. IV Simpósio sobre o Cerrado. Brasília. Ed. da Universidade de São Paulo. p. 333-347.
- LARSEN, S., 1967. Soil phosphorus. Advances in Agronomy. New York, 19: 151-211.
- LARSEN, S., 1973. Recycling of phosphorus in relation to long term soil reserves. Phosphorus in Agriculture. Paris, 61: 1-6.
- LEON, L.A. e W.E. FENSTER, 1980. El uso de rocas fosforicas como fuente de fosforo en suelos ácidos e infértiles de sur America. In: IFDC. III Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Heredia. Costa Rica. 24 p.
- LIMA, P.A., 1979. Fertilizantes em busca de auto suficiência. Simp. Brasil. Agro. Invest. São Paulo. (Mimeografado).
- LUTZ Jr., J.A., 1971. Comparison of partially acidulated rock phosphate and concentrated superphosphate as sources of phosphorus for corn. Agron. J. 63: 919-922.
- LUTZ Jr., J.A., 1973. Effect of partially acidulated rock phosphate and concentrated superphosphate on yield and chemical composition of alfafa and orchardgrass. Agron. J. 65: 286-289.

MALAVOLTA, E., 1976. Manual de Química Agrícola. Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo. São Paulo, Editora Agronômica Ceres. 528 p.

MALAVOLTA, E., 1981. Manual de Química Agrícola - Adubos e Adubação. 3.^a edição. São Paulo. Editora Agronômica Ceres. 596 p.

MALAVOLTA, E.; E. LIMA; L.I. NAKAYAMA e I. EIMORI, 1979. O Fósforo na Agricultura Brasileira. I Encontro Nacional de Rocha Fosfática. Brasília, 24 p. (Mimeografado).

MASCARENHAS, H.A.A.; O.C. BATAGLIA e C.T. FEITOSA, 1978. Respostas de soja a adubos fosfatados e calagem em solos de cerrado. Campinas. Instituto Agronômico. Boletim Técnico nº 54. p. 28.

McLEAN, E.O. e B.S. BALAM, 1967. Partially acidulated rock phosphate as a source of phosphorus to plants: III. Uptake by corn from soil of different calcium status. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31: 811-814.

McLEAN, E.O. e T.J. LOGAN, 1970. Sources of phosphorus for plants grown in soils with differing phosphorus fixation tendencies. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 907-911.

McLEAN, E.O. e R.W. WHEELER, 1964. Partially acidulated rock phosphate as a source of phosphorus to plants: I. Growth chamber studies. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 545-550.

McLEAN, E.O.; R.W. WHEELER e J.D. WATSON, 1965. Partially acidulated rock phosphate as a source of phosphorus to plants: II. Growth chamber and field corn studies. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29: 625-628.

- MOKWUNYE, U. e S.H. CHIEN, 1980. Reaction of partially acidulated Rp in soils from the tropics. Soil Sci. Soc. Amer. J. 44: 477-482.
- NOVAIS, R.F.; J.M. BRAGA e C.A.S. MARTINS FILHO, 1980. Efeito do tempo de incubação do fosfato de Araxá em solos sobre o fósforo disponível. R. Bras. Ci. Solo 4: 153-155.
- OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF THE A.O.A.C., 1975. 12th ed. published by the Ass. Off. Anal. Chem. Washington. D.C.
- OLSEN, S.R.; W.D. KEMPER e R.D. JACKSON, 1962. Phosphate diffusion to plant roots. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26: 222-227.
- PETERSEN, G.W. e R.B. COREY, 1966. A modified Chang and Jackson procedure for routine fractionation of inorganic soil phosphates. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30: 563-565.
- ROBERTSON, W.K.; L.G. THOMPSON e C.E. HUTTON, 1966. Availability and fractionation of residual phosphorus in soils high in aluminum and iron. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30(4): 446-450.
- RAIJ, B. Van, 1981. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato. Ed. Franciscana. p. 93-108.
- SHINDE, B.N.; P.A. SARANGAMATH e S. PATNAIK, 1978. Efficiency of HCl and H₂SO₄ acidulated rock phosphates for rice (*Oryza sativa* L.) on acid soils. Plant and Soil 50: 575-584.
- TERMAN, G.L. e S.L. ALLEN, 1967. Response of corn to phosphorus in underacidulated phosphate rock and rock superphosphate fertilizers. J. Agr. Food Chem. 2(15): 354-8.

- TERMAN, G.L.; E.C. MORENO e G. OSBORN, 1964. Acidulation of phosphate rock in soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 104-107.
- VOLKWEISS, S.J. e B. Van RAIJ, 1976. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: FERRI, M.G. IV Simpósio sobre o Cerrado. Brasília, Ed. da Universidade de São Paulo. p. 317-332.
- ZAGATTO, E.A.G.; A.O. JACINTHO; B.F. REIS; F.J. KRUG; H. BERGAMIN Fº; L.C.R. PESSEDA; J. MORTATTI; M.F. GINÉ, 1981. Manual de Análises de Plantas e Águas empregando Sistemas de Injeção em Fluxo. USP. CENA. Piracicaba, SP. p. 1-45.