

APROVEITAMENTO DE UM FOSFATO NATURAL PARCIALMENTE  
SOLUBILIZADO PELO SORGO SACARINO EM CONDIÇÕES  
DE CASA DE VEGETAÇÃO

I. LATOSSOLO VERMELHO AMARELO\*

L.H.I. NAKAYAMA  
E. MALAVOLTA\*\*

*RESUMO*

Foi estudado o aproveitamento do fosfato de Araxá parcialmente solubilizado com ácido sulfúrico (FAPS) em comparação com o concentrado fosfático de Araxá (FA), com o fosfato de Gafsa (FG) e com o superfosfato simples SPS. Empregou-se um LVA de textura média de Anhembi, SP. Foram feitos três cultivos sucessivos sem readubação fosfatada, em presença e ausência de calagem inicial. A análise dos dados permitiu tirar as conclusões principais: a eficiência do FAPS em relação à do SPS diminuiu do primeiro para o terceiro, atingindo em média 70%; o FG deu resultados

---

\* Recebido para publicação em 20/12/83. Parte da dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada à ESALQ/USP. Com ajuda da Arafertil, FAPESP, BNDE e CNEN.

\*\* Departamento de Química, ESALQ/USP e CENA-USP, 13.400 Piracicaba, SP.

equivalentes e o FA garantiu cerca de 50% da produção de matéria seca; em presença de calagem, entretanto, aumentou a eficiência relativa do FAPS (80-90%) e caiu a do FA (40%); o teor de P disponível no solo aumentou com a calagem quando se usou FAPS; a análise das plantas mostrou que o FAPS funcionou como fonte de P, Ca e S; o comportamento do produto se aproxima mais daquele do SPS do que o FA original.

## INTRODUÇÃO

O fósforo é reconhecidamente o macronutriente que com mais frequência se encontra deficiente nos solos brasileiros e que por isso limita a produção, particularmente a das culturas não perenes. Vem em seguida o nitrogênio e, em terceiro lugar, o enxofre, muito provavelmente.

As necessidades de P são satisfeitas mediante o emprego de superfosfatos, fosfatos de amônio, termofosfato e, em menor grau, fosfatos naturais. Dada a baixa solubilidade de fosfatos naturais brasileiros o seu uso mais indicado está na prática da "fosfatagem" destinada a aumentar gradualmente o teor de P disponível no solo (MALA VOLTA, 1981, p. 141-2).

A falta de S, por sua vez, é suprida mediante o uso de superfosfato simples (SPS) e de sulfato de amônio.

Considerando-se: a baixa disponibilidade do  $P_2O_5$  contido nos fosfatos naturais; a necessidade de se fornecer S às culturas; a conveniência de se economizar ácido sulfúrico no processo de solubilização de rocha fosfáti-

ca; o interesse em se utilizar os "finos" do processo de beneficiamento do fosfato natural; aparece como alternativa a ser explorada a produção de fosfato natural parcialmente acidulado (FNPA).

A idéia não é nova: a primeira patente para se obter um produto desse tipo tem quase 50 anos.

Dependendo da rocha fosfatada, do grau de acidulação, das condições de solo, da cultura, a eficiência do FNPA varia em geral entre 67% e 100% (pouco mais) daquela do SPS (COOKE, 1956; MCLEAN e WHEELER, 1964; TERMAN, 1971; FRANCO, 1977; KHASAWNEH e DOLL, 1978; FERREIRA e KAMINSKI, 1979).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Produto

O produto utilizado foi obtido por tratamento da rocha fosfática de Araxá, MG, usando-se a metade da quantidade de ácido sulfúrico empregado para produzir SPS. Seu nome comercial é FAPS. As características químicas (teores de  $P_2O_5$ , solubilidade) foram estudadas por NAKAYAMA (1982) podendo ser assim resumidas:  $P_2O_5$  solúvel em  $H_2O$  (relação 1/100) - 8%;  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico a 2% (1/100) - 10%;  $P_2O_5$  solúvel em citrato de amônio pH 7,0 (1/100) - 12% CaO total - 35%; CaO solúvel em água (1/100) - 10%; S total - 6%; S solúvel em água (1/100) - 4%. O material ensaiado se apresentava em pó e granulado.

## Solo

O solo do experimento, latossolo vermelho escuro, textura média, de Anhembi, S.Paulo (Harplorthox), antes sob vegetação de cerrado apresentou as seguintes características químicas pH - 5,3; C - 0,72%; trocáveis, e.mg./100g terra, Ca - 1,20; Mg - 0,56; Al - 0,60; H - 3,60;  $PO_4^{-3}$  ( $H_2SO_4$  0,05N) - 4  $\mu$ g/ml terra; K - 104  $\mu$ g/ml.

## Espécie

Sorgo sacarino - *Sorghum bicolor* (L.) Moench, cultivar Brandes.

## Tratamentos

Os tratamentos utilizados encontram-se na Tabela 1. O fósforo foi incorporado ao solo na dose única de 200 ppm de P total do vaso, fornecido através de quatro 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 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.

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições.

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

Aplicou-se 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% da capacidade de retenção de água. 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 do pH.

Tabela 1 - 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 < 1mm + Macro e Micronutrientes
10	FAPS < 1mm + 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

### 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  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 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  $\text{K}_2\text{SO}_4$  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  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; 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).

### Adubação Fosfatada

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

### 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. A medida que as plantas 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 fez-se desbastes logo após a germinação, deixando 2 plantas.

As sementeiras dos três cultivos foi procedida, respectivamente, em 16/02/79, 17/07/79 e 03/11/79.

### **Colheita**

O sorgo foi colhido na fase de emborrachamento.

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 gramas de terra de cada vaso, de modo a formar uma amostra composta para análise.

### **Análise das 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 vanato-molibdato de amônio; cálcio por espectrofotometria de chama; enxofre, por turbidimetria em fluxo contínuo (ZAGATTO *et alii*, 1981).

### **Análise de solo**

Nas amostras de solo correspondentes aos Três cultivos, determinaram-se o pH em água e o fósforo, utilizando como extrator  $\text{NaHCO}_3$  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).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Primeiro Cultivo

Os dados de produção de matéria seca obtida nos três cultivos estão contidos na Tabela 2.

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 do efeito do íon comum (KAMPRATH, 1976).

As quantidades de fósforo absorvidas pelas plantas encontram-se na Tabela 3. 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.



2 - Efeito de Fontes de fósforo na produção de matéria seca (g/vaso) da planta de sorgo sacariano cv. Bran-  
des, 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 < 1mm	50,30ab	56,49a	53,39A	9,71b	16,41abc	13,06B	3,66b	26,08ab	14,87C
FAPS 1-2mm	55,15a	55,32a	55,24A	4,36bcd	11,09cd	7,22C	4,97b	20,70c	12,83CD
FAPS 2-3mm	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	42,33	10,13ab	13,31a	11,72	8,59ab	20,93a	14,87

Valores de F: Fontes (F) = 85,09\*\* Fontes (F) = 27,05\*\* Fontes (F) = 36,76\*\*  
 Calagem (C) = 3,13ns Calagem (C) = 11,27\*\* Calagem (C) = 193,82\*\*  
 F x C = 9,57\*\* F x C = 2,46\* F x C = 8,48\*\*  
 C.V.% = 13,44 C.V.% = 32,32 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 compara Calagem  
 Letras minúsculas na vertical comparam Fontes  
 \* Significativo ao nível de 5%  
 \*\* Significativo ao nível de 1%

Tabela 3 - 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	12,16a	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 < 1mm	15,96c	14,93c	15,45C	3,61cd	4,65bc	4,13C	1,66b	8,16b	4,91B
FAPS 1-2mm	13,86c	14,30c	14,08C	1,40ef	3,89cd	2,65D	2,22b	5,76c	3,99BC
FAPS 2-3mm	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\*\*  
 Calagem (C) = 8,88\*\*  
 F x C = 8,36\*\*  
 C.V.% = 15,59

Fontes (F) = 33,65\*\*  
 Calagem (C) = 8,94\*\*  
 F x C = 4,86\*\*  
 C.V.% = 30,46

Fontes (F) = 46,13\*\*  
 Calagem (C) = 139,70\*\*  
 F x C = 3,82\*\*  
 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 liberou 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 de superfosfato simples granulado e do FAPS.

As quantidades de Ca absorvidas pelas plantas nos diferentes tratamentos estão contidas na Tabela 4. 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 5. 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 nutrientes; a calagem poderia estar afetando em maior intensidade a disponibilidade do fósforo. Sabe-se que a quantidade de sulfato adsorvido aumenta com a concentração da de equilíbrio, e diminui à medida que se eleva o pH do solo.

Tabela 4 - Efeito de Fontes de fósforo sobre as quantidades de cálcio (mg/vaso) absorvido pela planta de sorgo sacarino, cv. Brandes, cultivado em LVA 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 < 1mm	23,43bc	31,45b	27,44C	1,87c	3,02b	2,44C	0,56c	5,96bc	3,26C
FAPS 1-2mm	26,29b	33,69b	29,99BC	1,11cd	2,98b	2,04C	0,66c	5,04cd	2,85CD
FAPS 2-3mm	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) = 71,06**	Fontes (F) = 31,53**	Fontes (F) = 31,53**	Fontes (F) = 46,32**		Fontes (F) = 254,76**	Fontes (F) = 254,76**	
	Calagem (C) = 15,74**	Calagem (C) = 15,74**	Calagem (C) = 1,44ns	Calagem (C) = 1,44ns	Calagem (C) = 6,11**		Calagem (C) = 6,11**	Calagem (C) = 6,11**	
	F x C = 7,83**	F x C = 7,83**	F x C = 6,92**	F x C = 6,92**	F x C = 24,76**		F x C = 24,76**	F x C = 24,76**	
	C.V.% = 16,20	C.V.% = 16,20	C.V.% = 33,95	C.V.% = 33,95	C.V.% = 24,76		C.V.% = 24,76	C.V.% = 24,76	

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

Letras minúsculas na vertical indicam Fonte dentro da Calagem, e na horizontal compara calagem

Letras maiúsculas na vertical comparam Fontes.

\* Significativo ao nível de 5%

\*\* Significativo ao nível de 1%

Tabela 5 - 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	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem					
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 < 1mm	16,12b	14,81a	15,46B	2,41bc	2,74ab	2,57B	1,16c	6,30bc	3,73C		
FAPS 1-2mm	16,60 b	14,17a	15,38B	1,51cd	1,66bc	1,58C	1,52c	5,17bcd	3,34CD		
FAPS 2-3mm	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	15,30a	2,52a	1,96ab	2,76b	2,76b	5,24a	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 = 4,50**	F x C = 6,27**	C.V.% = 17,78	C.V.% = 36,47

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

\* Significativo ao nível de 5%

\*\* Significativo ao nível de 1%

## Segundo Cultivo

Os dados referentes à produção de matéria seca das plantas encontram-se na Tabela 2.

No segundo cultivo, os superfosfatos e o fosfato 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 fosfato de Araxá e foram melhores que a testemunha. O superfosfato e o fosfato de Gafsa deram respostas independentes da calagem, enquanto que o FAPS e o fosfato de Araxá mostraram resposta maior quando a acidez foi corrigida. Os dados relativos ao fosfato de Araxá contrariam, portanto, o que é comumente verificado, isto é, o baixo pH favorecendo o aproveitamento.

A Tabela 3 traz as quantidades de fósforo absorvidas pelas plantas de sorgo. A absorção de P nos tratamentos com superfosfato simples em pó e fosfato de Gafsa é maior que nas demais fontes testadas. O FAPS (1mm) teve maior quantidade de P absorvido que os de maior granulometria. A calagem favoreceu de forma positiva 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 4), 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 5 mostra as quantidades de enxofre absor-

vidas 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.

### Terceiro Cultivo

Os dados de produção de matéria seca encontram-se na Tabela 2. 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 (1mm) superaram outros de grânulos maiores (LEON e FENSTER, 1980; ASHBY et alii, 1966) e a calagem favoreceu todas as fontes.

Na Tabela 3 são observadas as quantidades de P absorvidas pelas plantas nos diferentes tratamentos. A absorção de P nos tratamentos com superfosfatos 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. 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 4) 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.

A quantidade de S absorvida pelas plantas de sorgo

encontra-se na Tabela 5. 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 (1mm) enquanto que o intermediário (1-2 mm) teve o mesmo comportamento que o fosfato de Araxá, e ambos diferiram do FAPS (2-3 mm).

### **Eficiência Relativa**

A Figura 1 mostra a eficiência das fontes fosfatadas, nos três cultivos realizados no solo sem calagem. Verifica-se que no primeiro cultivo o FAPS atingiu, 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



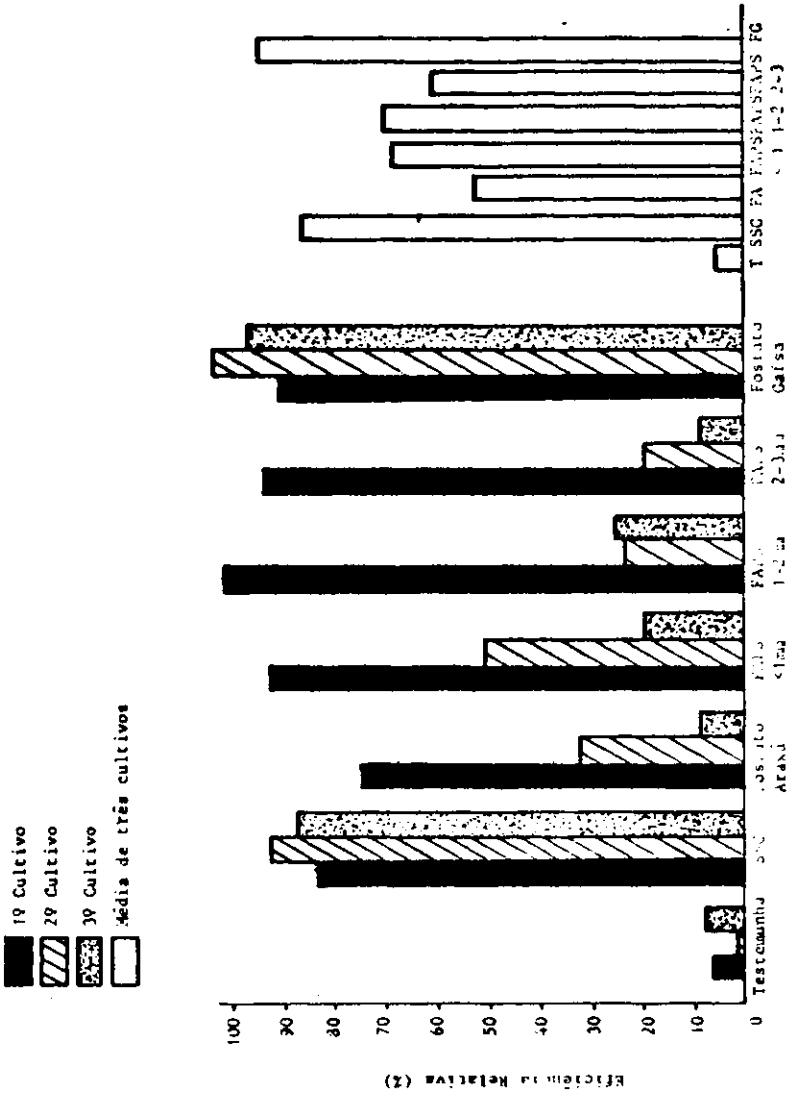


Figura 1. Eficiência relativa das fontes de fósforo utilizadas no LVA de Anhembi, sem calagem, considerando-se a produção de matéria seca obtida com superfosfato simples em pó igual a 100 em cada cultivo.



das fontes em presença de calagem. No primeiro cultivo os FAPS e SSP mostraram igual efeito, tendo em média a eficiência de 90%, 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 concentraria os de GOEDERT e LOPATC (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.

### Análise dos Solos

Na Tabela 6 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  $\text{NaHCO}_3$ , pH = 8,5. Segundo FASSBENDER (1978), o  $\text{NaHCO}_3$ , pH = 8,5 tem a capacidade de extrair o fósforo ligado ao ferro e ao alumínio, através do aumento 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

Tabela 6. Valor de pH (H<sub>2</sub>O) e teor de fósforo (µg/ml) no solo, determinado pelo método de Olsen, após o cultivo do 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		
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 simples em 20	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 simples 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

tratamentos com FAPS.

Na Tabela 7 traz as várias formas de P no solo, de terminadas pelo fracionamento depois do último cultivo. Houve predominância das frações, na seguinte ordem crescente: P-Fe P-Al P-Ca P solúvel  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . 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  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

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, há predominância do P-Fe sobre as demais formas, indicando alta intemperização do solo em estudo.

## SUMMARY

### RESPONSE OF SWEET SORGHUM TO A PARTIALLY ACIDULATED ROCK PHOSPHATE. I. GREENHOUSE STUDIES USING A RED YELLOW LATOSOL.

The usefulness of a rock phosphat from Araxá, MG, Brasil, partially acidulated with sulfuric acid (FAPS) was studied, rock phosphate (FA), gafsa phosphate (FG), and simple superphosphate (SPS) being used for comparison. Three successive crops were employed in order to assess the residual value, both in presence and in the absence of liming. The analyses of data obtained allowed for the following conclusions to be drawn: the efficiency of FAPS in relation to that of SPS decreased from the first to the third crop, reaching 70% as general average; in the presence of liming, however, the efficiency did not decrease so much, 80-90% being obtained; FG gave

Tabela 7 - Quantidades de formas de P ( $\mu\text{g/ml}$ ) encontrados no LVA de Anhembi, cultivado com sorgo sacarino na presença e ausência de calagem. Terceito cultivo (média de duas repetições).

Tratamentos	Fósforo solúvel em $\text{NH}_4\text{Cl}$		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	26,68	26,68	46,87	46,87	156,06	121,34	1,18	15,93	230,79	210,81
Superfósforo simples em pó	26,68	26,68	105,47	108,72	156,06	171,84	15,93	26,99	304,14	334,23
Superfósforo 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 < 1mm	24,98	33,47	105,47	89,19	168,53	197,09	89,67	82,30	388,65	402,05
FAPS 1-2mm	24,98	24,98	89,19	89,19	171,84	162,37	67,55	74,92	353,56	351,46
FAPS 2-3mm	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

results equivalent to those obtained with SPS; liming decreased the relative efficiency of the rock phosphates, especially that of FA which fell from circa 50% to 40%; available P content in the soil was increased as consequence of various treatments including FAPS plus lime; FAPS acted as a source of P, Ca, and S; its performance in closer to that of SPS than to that of the original FA.

#### LITERATURA CITADA

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: 627-25.

COOKE, G.W., 1956. Valeur agricole des engrais phosphatés produits selon des procédés économisant l'acid sulfurique. Publ. pela OECE, Paris.

FASSBENDER, H.W., 1978. *Química de suelos con énfasis de América Latina*. San José. Ed. Matilde de la Cruz. 398 p.

FERREIRA, T.N. e KAMINSKI, 1979. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais de Patos-de-Minas e Gafsa puras e modificados por acidulação e calcinação. *R. bras. Ci. Solo* 3: 158-162.

FRANCO, M., 1977. Fosfatos naturais parcialmente acidificados com  $H_3PO_4$ , HCl e  $H_2SO_4$  na cultura de sorgo grãífero em um solo de cerrado de Ituiraba, MG. *Diss. de Mestrado*, U. Federal de Viçosa.

GOEDERT, W.J. e E.LOBATO, 1980. Eficiência agronômica de fosfatos em solos de cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.* Brasília, 15(3): 311-318.

- 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.
- 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.
- KHASAWNEH, F.E. e E.C.DOLL. 1978. The use of phosphate rock for direct application to soil. **Adv. Agron.** 30: 159-206.
- 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: IFDE. III Congresso Latinoamericano de la Ciencia del suelo, Heredita. Costa Rica. 24p.
- 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.
- MALAVOLTA, E., 1981. Manual de Química Agrícola - Adubos e Adubação. 3ª ed. Editora Agronômica Ceres Ltda., S. Paulo.
- 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. Amer. Proc.** 34: 907-911.
- McLEAN, E.O. e R.W. WHEELER. 1964. Partially acidulated rock phosphate as source of phosphorus to plants. I. Growth chamber studies. **Proc. Soil. Sci. Soc. Amer.** 29: 545-550



- NAKAYAMA, L.H.I , 1982. Estudos Agrícolas sobre o aproveitamento do fosfato de Araxã parcialmente solubilizado. **Diss. de Mestrado**, E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba.
- RAIJ, B. Van, 1981. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato. Ed. Franciscana. p. 93-108.
- TERMAN, G.L., 1971. Phosphate fertilizer source: Agronomic effectiveness in relation to chemical and physical properties. The fertilizer Soc. Proc. 123, Londres.
- ZAGATTO. E.A.G.; A.O. JACINTHO; B.F. REIS; F.J. KRUG; H. BERGAMIN Fº; L.C.R. PESSENDA; 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.