

## EFEITO DA INTERAÇÃO GRAMÍNEA — SOLO — CALAGEM SOBRE A EFICIÊNCIA DE FOSFATOS NATURAIS\*

Sônia Martins Moreira  
Emílio Gomide Loures  
José Tarcísio Lima Thiébaud  
Roberto Ferreira Novais\*\*

### 1. INTRODUÇÃO

Os solos sob vegetação de cerrado ocupam uma área de aproximadamente 1,5 milhão de km<sup>2</sup>, na Região Centro-Oeste do Brasil, e uma área periférica de 500 mil km<sup>2</sup> (1). Abrangem, dessa forma, 20-25% da área do território brasileiro (6). Essa região apresenta topografia ligeiramente ondulada e solos com boas qualidades físicas.

Entretanto, esses solos apresentam uma série de fatores que limitam o crescimento das plantas. Citam-se, dentre eles, acentuada acidez, altos teores de Al no complexo sortivo, baixo teores de Ca, Mg e K trocáveis, de matéria orgânica e, principalmente, de fósforo disponível. Esses solos são tidos como sendo os menos férteis do Brasil (9).

A utilização de fosfatos naturais pode constituir ótimo recurso para aumentar a quantidade de fósforo disponível nesses solos. Todavia, o emprego desses fosfatos é restrito, em razão de sua solubilidade, que se torna mais limitante com a elevação do pH do solo depois da necessária calagem.

Ford, em 1932, Lewis, Baker e Snyder, em 1950, citados por ROSCOE *et alii* (11),

---

\* Parte da tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, pelo primeiro autor, como parte das exigências para obtenção do grau de «Magister Scientiae».

Recebido para publicação em 19/10/1978. Projeto n.º 1.1496 do Conselho de Pesquisa da U.F.V. Esse trabalho foi parcialmente financiado pelo Convênio U.F.V.-EMBRAPA-FINEP.

\*\* Respectivamente, Bacharela e Licenciada em História Natural, Professor Titular, Professor Adjunto e Professor Titular da U.F.V.

verificaram que a adição de calcário reduziu a solubilidade de rocha fosfatada e não foi eficiente no fornecimento de fósforo para os vegetais, em condições de solos calcários WUTKE *et alii* (15), pesquisando a disponibilidade de fósforo dos fosfatos naturais, em função do pH do solo, chegaram a resultados diferentes, concluindo que a elevação do pH concorreu para a solubilização do fósforo contido na fosforita de Olinda e na apatita de Araxá, exercendo efeito desfavorável sobre o fosfato de Alvorada. Trabalhando com *Brachiaria decumbens*, YOST *et alii* (16) observaram que, aplicada junto com o fosfato de Araxá, a calagem diminui a produção de matéria seca dessa gramínea.

Outro aspecto importante quanto à eficiência do fosfato natural como fonte de fósforo é o tempo de contato desse material como o solo (16).

SOUZA (13) verificou que o aumento do tempo de incubação melhorou a eficiência dos fosfatos naturais como fontes de fósforo, propiciando maior produção de matéria seca e maior quantidade de fósforo absorvido pela planta. Notou, ainda, que, quanto à produção de matéria seca, o fosfato de Araxá foi superior ao fosfato de Patos e esse último superior ao fosfato de Tapira, em todos os níveis e períodos de incubação estudados.

Do mesmo modo, pesquisando o efeito residual dos fosfatos naturais na cultura do sorgo, BUENO (3) notou que o fosfato de Araxá superou o de Patos na produção de matéria seca e na quantidade de fósforo absorvido, depois do segundo plantio.

Quanto ao comportamento de gramíneas forrageiras, em relação ao fósforo, McCLUNG *et alii* (8), num trabalho realizado com capim-jaraguá, observaram que, nos tratamentos em que foi omitido o fósforo, essa gramínea produziu menos da metade da matéria seca obtida com o tratamento completo. Verificaram, ainda, que o capim-jaraguá dificilmente se desenvolveu no seu primeiro estágio, quando o fósforo não tinha sido adicionado. As plantas não foram além de dois a três centímetros de altura durante algumas semanas após a emergência, não obstante as boas condições de umidade e luz.

Este trabalho teve como objetivo verificar o efeito da interação gramínea-solo, na presença e ausência de calagem, sobre o comportamento dos fosfatos naturais de Araxá, de Patos de Minas e de Tapira.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho utilizaram-se amostras de três solos representativos da região do cerrado de Sete Lagoas, Minas Gerais, e peneiradas em malha de 2 mm de abertura. As amostras, obtidas à profundidade de 0 a 20 cm, foram caracterizadas como sendo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa, fase cerrado, relevo suave ondulado (LVd<sub>1</sub>), Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, fase cerrado, relevo ondulado (LVd<sub>2</sub>) e Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, fase cerrado (LEd).

O Quadro 1 apresenta resultados da análise granulométrica e da classificação textural dos solos.

A quantidade de corretivo necessária para elevar o pH das amostras dos solos a valores de 6,0 a 6,5 foi determinada de acordo com o método do SMP (12). O corretivo foi aplicado, na forma de CaCO<sub>3</sub> + MgCO<sub>3</sub>, numa relação de equivalência de 3:1, a uma das metades das amostras de cada solo. Após a aplicação do corretivo, procedeu-se à homogeneização, em separado, das amostras e à adição de água desmineralizada, em quantidade suficiente para que se tivesse o equivalente a 40% da capacidade máxima de retenção de cada solo.

QUADRO 1 - Resultados da análise granulométrica e da classificação textural das amostras dos solos

Solo	Areia Grossa %	Areia Fina %	Silte %	Argila %	Classificação Textural
1. LVd <sub>1</sub>	7	17	26	50	Argila
2. LVd <sub>2</sub>	9	19	16	56	Argila
3. LE <sub>d</sub>	22	26	17	35	Argila-Arenosa

A incubação foi realizada numa superfície forrada com plástico, sendo o solo reumedecido quando se apresentava ressecado. Durante a incubação foram efetuadas determinações de pH e de  $Al^{+++}$  trocável, para que fosse determinada a estabilização. A estabilização ocorreu após 51 dias de incubação. Depois da incubação as amostras dos solos foram passadas em peneira de 2mm de abertura.

As amostras dos solos foram submetidas às análises químicas antes e depois da aplicação do corretivo (Quadro 2).

Foram empregados os fosfatos naturais de Araxá, de Patos de Minas e de Tapira, em suas formas comerciais.

A quantidade de fósforo solúvel em ácido cítrico a 2% nesses fosfatos foi determinada de acordo com o método descrito por CATANI (4), usando a relação de 1:300.

O fosfato de Araxá apresentou 12,2% de  $P_2O_5$ ; o de Patos de Minas, 10,32%; o de Tapira, 4,70%:

As gramíneas forrageiras empregadas foram o capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.), o capim-gordura (*Melinis minutiflora* Pal. de Beauv.) e o capim-jaraguá (*Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf.), com os tratamentos correspondentes em vasos sem planta.

Os três tipos de solo, os dois níveis de calagem, os três níveis de fosfatos e as quatro espécies de gramínea foram combinados num esquema fatorial e dispostos em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições.

Depois do plantio, os solos foram umedecidos com água desmineralizada, até que se obtivesse o correspondente a 40% da capacidade máxima de retenção de água de cada solo. Os vasos foram irrigados diariamente, com água desmineralizada, até o final do experimento.

O desbaste das plantas nos vasos foi iniciado depois do 5.º dia de emergência, deixando-se 5 plantas em cada vaso.

Para prevenir possível deficiência de nitrogênio, quando as plantas se encontravam com 15 dias de idade procedeu-se à aplicação de 0,5 g de nitrogênio em cada vaso, sob a forma de uréia.

Aos 63 e aos 130 dias depois do plantio as plantas apresentaram sintomas de deficiência de nitrogênio, o que ocasionou novas aplicações desse nutriente em cada uma das épocas, respectivamente, em quantidade suficiente para que fosse retido o equivalente a 0,25 g de nitrogênio por vaso, num caso e noutro.

Os cortes da parte aérea das plantas foram efetuadas em duas épocas: o primeiro, a uma altura de 5 cm do solo, 90 dias depois do plantio; o segundo, 60 dias

QUADRO 2 - Resultados da análise química das amostras dos solos							
Análises Químicas		Antes da Calagem			Depois da Calagem		
		Solo			Solo		
		LVD <sub>1</sub>	LVD <sub>2</sub>	LEd	LVD <sub>1</sub>	LVD <sub>2</sub>	LEd
pH em água	(1)	4,8	4,6	5,0	6,9	6,0	6,2
Al <sup>+++</sup> (eq.mg/100g)	(2)	2,6	0,9	1,0	0,0	0,0	0,0
Ca <sup>++</sup> (eq.mg/100g)	(2)	0,4	1,6	1,0	4,0	4,9	3,9
Mg (eq.mg/100g)	(2)	0,3	0,7	0,2	1,8	2,3	2,2
K (ppm)	(3)	56,0	96,0	16,0	46,0	84,0	20,0
P (ppm) N.C.	(3)	1,0	3,0	4,0	2,0	3,0	5,0
P (ppm) Olsen	(4)	0,1	1,0	1,5	0,0	0,7	1,4
Al <sup>+++</sup> %		76,0	26,0	45,0	0,0	0,0	0,0
C %	(5)	2,4	3,1	3,3	2,3	3,0	3,3
M.O. %	(5)	4,1	5,3	5,7	4,0	5,2	5,7
N %	(6)	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2

  

(1) Relação solo: solução = 1:2,5	(14)
(2) Extrator: KCl 1 N	(14)
(3) Extrator: North Carolina	(14)
(4) Extrator: Olsen, pH 8,5	(10)
(5) Processo: Walkley - Black	(7)
(6) Método: Kjeldahl	(7)

depois do primeiro.

A parte aérea coletada foi colocada em sacos de papel, para secagem em estufa com ventilação forçada, a 70°C, durante 7 dias. Em seguida, o material foi pesado, moído e analisado quimicamente.

Os solos dos 3 vasos, correspondentes às 3 repetições, foram separados das raízes e homogeneizados depois do segundo corte da parte aérea. Amostras, uma de cada um dos 3 vasos, que correspondiam a um tratamento, foram reunidas numa amostra composta. Após nova homogeneização, em saco plástico, retiraram-se 3 amostras para determinação do teor de umidade e análise química.

O solo dos tratamentos sem plantas foi amostrado da mesma forma.

A análise do fósforo no material vegetal foi efetuado calorimetricamente, após mineralização das amostras por via seca, utilizando-se o método descrito por BRAGA e DEFELIPO (2).

Para a determinação do fósforo «disponível» no solo, amostras de 2,5 g foram transferidas para tubos de centrifuga, com capacidade para 30 ml. Adicionaram-se em seguida, aproximadamente 0,5 g de carvão ativado e 25 ml do extrator de Olsen (10). Os tubos de centrifuga foram vedados com rolhas de borracha, sendo agitados e centrifugados durante 10 minutos, a 5000 ppm.

Os sobrenadantes foram filtrados em papel de filtro Whatman n.º 2.

O fósforo em solução foi determinado calorimetricamente, pelo método descri-

to por BRAGA e DEFELIPO (2). Contudo, adicionaram-se 5 ml de HCl (1N) às alíquotas de 10 ml dos extratos, que se encontravam em balões volumétricos de 25 ml, objetivando manter o valor do pH dos extratos na faixa de 5,4 a 6,5, região de viragem do indicador paranitrofenol. Isso foi feito para evitar a interferência do  $\text{CO}^{''}_3$  no desenvolvimento da cor azul pelo molibdato, observada anteriormente.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. *Peso da Parte Aérea Seca*

No primeiro corte, a calagem prejudicou acentuadamente a produção de matéria seca das gramíneas no solo  $\text{LVd}_1$  (Quadro 3). YOST *et alii* (16), trabalhando com *Brachiaria decumbens*, constataram, de modo semelhante, que a calagem diminuiu a disponibilidade de fósforo do fosfato de Araxá, influenciando, desse modo, a produção de matéria seca.

No solo LEd, o tratamento com calagem favoreceu, de modo geral, o desenvolvimento das gramíneas, ao passo que, no solo  $\text{LVd}_2$ , essa prática mostrou efeito intermediário, em relação aos outros dois solos. Essa diferença de comportamento dos três solos em relação à calagem parece estar ligada às suas características químicas (Quadro 2), destacando-se, entre essas, o teor de alumínio trocável e o de fósforo disponível.

Assim, o solo  $\text{LVd}_1$  foi o que apresentou a maior concentração de alumínio trocável, sendo que sua precipitação pela calagem pode ter resultado numa menor solubilização dos fosfatos. Considerando que este cátion representa um fator de grande importância na solubilização do fosfato tricálcico (5), supõe-se que o efeito mais acentuado da calagem seja consequência da maior precipitação do alumínio. Outro aspecto que, adicionado ao primeiro, pode ser útil à compreensão do comportamento diferencial dos três solos quanto à calagem é o teor de fósforo de cada um: apenas 1 ppm no solo  $\text{LVd}_1$ , 3,0 ppm no solo  $\text{LVd}_2$  e 4,0 ppm no solo LEd (Quadro 2).

O fosfato de Araxá foi, de modo geral, superior aos demais. Resultados semelhantes foram obtidos por SOUZA (13). O fosfato de Patos de Minas apresentou, na maioria das vezes, efeito semelhante ao de Tapira, no que se refere à produção de matéria seca.

No solo  $\text{LVd}_1$ , com calagem, os tratamentos com fosfato de Araxá resultaram na maior produção de matéria seca. Tal fato pode ser atribuído ao seu maior teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  solúvel em ácido cítrico. Nos solos  $\text{LVd}_2$  e LEd, o comportamento dos fosfatos, na presença ou ausência de calagem, não apresentou grandes variações, o que se atribui aos maiores teores de fósforo e aos menores teores de alumínio trocável encontrados neles.

O capim-jaraguá destacou-se dos demais em razão de seu reduzido crescimento. Esse capim, no solo  $\text{LVd}_1$ , com calagem e adubado com os fosfatos de Patos de Minas e de Tapira, não conseguiu atingir a altura de 5 cm, prefixada para o corte. McCLUNG *et alii* (8) cultivaram essa gramínea em solo com deficiência de fósforo e em solo adubado com macro e micronutrientes e constataram, do mesmo modo, que não ultrapassou três centímetros de altura, durante várias semanas, quando o fósforo não foi adicionado.

As produções de matéria seca obtidas no segundo corte foram mais elevadas que as verificadas no primeiro. Isso, provavelmente, se deve ao fato, já constatado por YOST *et alii* (16) e SOUZA (13), de que os fosfatos naturais se tornam mais disponíveis para as plantas à medida que o tempo de incubação aumenta.

QUADRO 3 - Médias do peso da parte aérea seca, para os diferentes solos, com e sem calagem. Primeiro corte.				
Peso da Parte Aérea Seca (g)				
Solo LVd <sub>1</sub> (DMS Gramínea = DMS Fosfato = 3,24)				
Calagem	Fosfato	Braquiária	Gordura	Jaraguá
C/Calagem	Araxá	7,20 aA	7,60 aA	0,50 aB
	Patos	1,50 bA	0,67 bA	0,00 aA
	Tapira	0,32 bA	0,13 bA	0,00 aA
S/Calagem	Araxá	26,72 aB	30,54 aA	5,89 aC
	Patos	9,82 bB	13,83 bA	2,23 bC
	Tapira	11,27 bB	14,65 bA	2,03 bC
Solo LVd <sub>2</sub> (DMS Gramínea = DMS Fosfato = 3,24)				
Calagem	Fosfato	Braquiária	Gordura	Jaraguá
C/Calagem	Araxá	21,77 aA	18,27 aB	4,82 aC
	Patos	17,35 bA	9,43 bB	1,90 abC
	Tapira	10,68 cA	5,48 cB	0,97 bC
S/Calagem	Araxá	29,93 aA	24,30 aB	9,43 aC
	Patos	17,96 bA	11,73 bB	3,35 bC
	Tapira	18,91 bA	14,65 bB	5,53 bC
Solo LEd (DMS Gramínea = DMS Fosfato = 3,24)				
Calagem	Fosfato	Braquiária	Gordura	Jaraguá
C/Calagem	Araxá	16,77 aA	15,33 aA	3,53 aB
	Patos	14,15 abA	13,30 abA	1,87 aB
	Tapira	11,73 bA	10,33 bA	1,53 aB
S/Calagem	Araxá	13,13 aA	9,23 aB	3,60 aC
	Patos	9,47 bA	12,02 aA	2,00 aB
	Tapira	9,00 bA	11,53 aA	1,77 aB
As médias de gramíneas seguidas de, pelo menos, uma mesma letra maiúscula numa mesma linha e as médias de fosfatos seguidas de, pelo menos, uma mesma letra minúscula, numa mesma coluna, dentro de um mesmo solo e nível de calagem, não diferem estatisticamente, pelo teste de TuKey, a 5% de probabilidade.				

No solo LVd, verificou-se que a calagem era lesiva à produção de matéria seca das gramíneas nos tratamentos com os fosfatos de Patos de Minas e de Tapira, embora seu efeito tenha sido menos pronunciado no segundo corte, em comparação ao primeiro (Quadro 4). Já no solo LVd<sub>2</sub> não se observaram grandes diferenças nas produções de matéria seca entre os tratamentos com e sem calagem, chegando mesmo, os solos com calagem, a apresentar, em grande parte dos casos, maiores produções. Para o solo LEd, o efeito da calagem não pôde ser destacado, uma vez que as interações entre a calagem e os demais fatores não foram significativas, sendo o teste de Tukey aplicado apenas às médias das gramíneas, separadamente.

O fosfato de Araxá mostrou-se superior aos demais no solo LVd<sub>1</sub> com calagem, fato que sugere, novamente, ser esse o fosfato mais solúvel. Nos demais tra-

QUADRO 4 - Médias do peso da parte aérea seca, para os diferentes solos, com e sem calagem. Segundo corte

Peso da Parte Aérea Seca (g)				
Solo LVD <sub>1</sub> (DMS Gramínea = DMS Fosfato = 6,22)				
Calagem	Fosfato	Braquiária	Gordura	Jaraguá
C/Calagem	Araxá	48,78 aA	39,93 aB	21,58 aC
	Patos	29,43 bA	22,49 bB	4,82 bC
	Tapira	9,18 cA	7,57 cA	0,82 bB
S/Calagem	Araxá	28,31 aA	25,58 bA	27,70 bA
	Patos	32,20 aB	40,40 aA	35,07 aAB
	Tapira	30,33 aB	40,65 aA	34,85 aAB
Solo LVD <sub>2</sub> (DMS Gramínea = DMS Fosfato = 6,22)				
Calagem	Fosfato	Braquiária	Gordura	Jaraguá
C/Calagem	Araxá	38,17 aA	40,00 aA	38,22 aA
	Patos	39,25 aA	40,48 aA	29,48 bB
	Tapira	44,05 aA	37,67 aB	23,03 cC
S/Calagem	Araxá	30,80 aA	33,78 aA	36,67 aA
	Patos	31,12 aB	39,07 aA	32,63 aB
	Tapira	34,73 aA	35,73 aA	33,53 aA
Solo LEd (DMS Gramínea = 2,54)				
Gramínea		Braquiária	Gordura	Jaraguá
		16,62 AB	15,48 B	18,52 A
As médias de gramíneas seguidas de, pelo menos, uma mesma letra maiúscula numa mesma linha e as médias de fosfatos seguidas de, pelo menos, uma mesma letra minúscula, numa mesma coluna, dentro de um mesmo solo e nível de calagem, não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.				

tamentos, o que se observou foi uma tendência de os fosfatos não se diferenciarem estatisticamente entre si.

Parece que o capim-jaraguá carece de mais fósforo, uma vez que, por ocasião do segundo corte, a produção de matéria seca elevou-se consideravelmente, chegando mesmo, em alguns casos, a equiparar-se às produções apresentadas pelo capim-braquiária e pelo gordura. Novamente, esse efeito foi atribuído à maior disponibilidade de fósforo, em razão do maior tempo de incubação. Outra observação que sugere ser o capim-jaraguá o mais exigente em fósforo é o fato de a calagem ter prejudicado acentuadamente seu desenvolvimento, em comparação com os demais, admitindo-se a existência de interação negativa entre calagem e disponibilidade de fósforo de fontes naturais em geral.

### 3.2. Fósforo Acumulado na Parte Aérea das Plantas

Os efeitos dos tratamentos, medidos com base no teor de fósforo acumulado na parte aérea das gramíneas no primeiro corte (Quadro 5), foram de modo geral,

QUADRO 5 - Médias do teor de fósforo acumulado na parte aérea das plantas, para os diferentes solos, com e sem calagem. Primeiro corte

Fósforo na Parte Aérea (mg)				
Solo LVd <sub>1</sub> (DMS Gramínea = DMS Fosfato = 5,69)				
Calagem	Fosfato	Braquiária	Cordura	Jaraguá
C/Calagem	Araxá	8,85 aA	7,86 aA	0,60 aB
	Patos	1,96 bA	0,84 bA	0,00 aA
	Tapira	0,15 bA	0,12 bA	0,00 aA
S/Calagem	Araxá	31,82 aB	42,75 aA	14,73 aC
	Patos	19,11 cB	34,04 bA	5,29 bC
	Tapira	26,11 bB	42,00 aA	5,00 bC
Solo LVd <sub>2</sub> (DMS Gramínea = DMS Fosfato = 5,69)				
Calagem	Fosfato	Braquiária	Gordura	Jaraguá
C/Calagem	Araxá	18,99 aB	26,94 aA	6,79 aC
	Patos	16,36 aA	11,32 bA	2,53 aB
	Tapira	10,16 aA	8,59 bA	1,48 aB
S/Calagem	Araxá	27,83 aA	25,56 aA	16,38 aB
	Patos	30,86 aA	22,91 aB	6,60 bC
	Tapira	26,64 aA	23,79 aA	11,42 abB
Solo LEd (DMS Gramínea = DMS Fosfato = 5,69)				
Calagem	Fosfato	Braquiária	Gordura	Jaraguá
C/Calagem	Araxá	25,76 aA	26,34 aA	6,98 aB
	Patos	20,79 abA	23,58 aA	3,88 aB
	Tapira	15,88 bA	16,42 bA	2,65 aB
S/Calagem	Araxá	26,01 aA	29,77 aA	5,80 aB
	Patos	17,85 bB	34,81 aA	2,76 aC
	Tapira	16,62 bB	31,34 aA	1,90 aC

As médias de gramíneas seguidas de, pelo menos, uma mesma letra maiúscula numa mesma linha e as médias de fosfatos seguidas de, pelo menos, uma mesma letra minúscula, numa mesma coluna, dentro de um mesmo solo e nível de calagem, não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

equivalentes aos obtidos com a avaliação do peso da parte aérea seca (Quadro 3). Tal semelhança sugere que as variações nas produções de matéria seca tenham sido causadas, principalmente, pelas variações na disponibilidade de fósforo nos tratamentos.

A calagem influiu de modo negativo na absorção e acumulação de fósforo pelas plantas no solo LVd<sub>1</sub> (Quadro 5). Esse efeito foi menos acentuado no solo LVd<sub>2</sub> e praticamente desapareceu no solo LEd, exatamente como foi observado na produção de matéria seca (Quadro 3), sugerindo novamente que a precipitação do alumínio trocável pela ação da calagem possa ter diminuído a «disponibilidade» de fósforo no solo.

As plantas cultivadas no solo LVd<sub>1</sub>, quando adubadas com o fosfato de Araxá, absorveram, de modo geral, maiores quantidades de fósforo. Tal fato sugere que esse fosfato tenha fornecido maior teor de fósforo «disponível» às plantas, em comparação com os outros dois fosfatos, nas condições do solo LVd<sub>1</sub>. Essa suposição tornou-se mais evidente quando se constatou que o fosfato de Araxá ocasionou também maior produção de matéria seca das gramíneas (Quadro 3).

A quantidade de fósforo absorvido e acumulado pelas plantas no LVd<sub>2</sub> foi praticamente a mesma para os diferentes fosfatos. Observou-se a mesma coisa no solo LEd. Entretanto, deve-se considerar que esses dois solos já apresentavam, antes da aplicação da adubação fosfatada, teores de fósforo «disponíveis» bem mais elevados que os do solo LVd<sub>1</sub> (Quadro 2).

Considerando que o sistema radicular de uma planta guarda certa proporção em peso com a parte aérea, pode-se supor que o sistema radicular do capim-jaraguá, por ocasião do primeiro corte, era pouco desenvolvido, o que pode ser importante para explicar os baixos teores de fósforo encontrados na parte aérea dessa gramínea (Quadro 5). Adiciona-se a essa explicação o fato, já constatado por McCLUNG *et alii* (8), de que o capim-jaraguá se desenvolve com dificuldade em solos com baixos teores de fósforo.

No segundo corte, a calagem continuou a atuar de modo negativo na solubilização dos fosfatos no solo LVd<sub>1</sub> (Quadro 6). For, em 1932, Lewis, Baker e Snyder, em 1950, citados por ROSCOE *et alii* (11), verificaram, de modo semelhante, que a solubilização de rocha fosfatada era reduzida pela adição de calcário. Apesar desse efeito negativo da calagem, constatada no solo LVd<sub>1</sub>, verificou-se que as plantas absorveram teores mais elevados de fósforo, em comparação com o primeiro corte. Isso sugere que a solubilização dos fosfatos aumentou no intervalo de tempo compreendido entre os cortes. Tais resultados comprovam a assertiva de YOST *et alii* (16) e SOUZA (13), de que a solubilização dos fosfatos naturais aumenta com o tempo de incubação. Deve-se ressaltar ainda o fato de que, por ocasião do segundo corte, deveria ter sido encontrado um sistema radicular mais desenvolvido, com capacidade, portanto, para explorar maior volume de solo.

A solubilização do fosfato de Araxá não foi favorecida, no solo LVd<sub>1</sub>, pela elevação do pH, embora entre os fosfatos empregados tenha sido o menos prejudicado pela calagem. Esses resultados contrastam com os obtidos por WUTKE *et alii* (15). O fosfato de Patos de Minas, no solo LVd<sub>1</sub>, com calagem, mostrou ter capacidade para superar o de Tapira. SOUZA (13), trabalhando com os fosfatos de Patos de Minas e de Tapira, também constatou que o fosfato de Patos de Minas superou o de Tapira quanto ao fornecimento de fósforo para as plantas.

Na ausência de calagem, a tendência geral dos fosfatos, nesse solo, foi não diferirem estatisticamente entre si. Não se observou essa ocorrência nos solos LVd<sub>2</sub> e LEd, onde o fosfato de Araxá se mostrou superior aos de Patos de Minas e de Tapira, sendo semelhante o comportamento desses dois últimos.

A análise de variância mostrou que, no solo LVd<sub>2</sub>, embora a calagem tenha influenciado de modo significativo o teor de fósforo acumulado na parte aérea das gramíneas, sua interação com os demais fatores não foi significativa. Por esse motivo, o teste de Tukey foi aplicado para gramíneas e fosfatos separadamente (Quadro 6). Para o tratamento sem calagem do solo LEd, não se justificaria a aplicação desse teste, uma vez que os fatores gramínea e calagem e a interação entre eles não apresentaram resultados significativos pela análise de variância.

O capim-jaraguá, na maioria dos casos, não mais se destacou dos demais quanto à capacidade de absorver e acumular fósforo, resultado esse refletido na maior produção de matéria seca (Quadro 4).

QUADRO 6 - Médias do teor de fósforo acumulado na parte aérea das plantas, para os diferentes solos, com e sem calagem. Segundo corte

Fósforo na Parte Aérea (mg)				
Solo LVD <sub>1</sub> (DMS Gramínea = DMS Fosfato = 13,05)				
Calagem	Fosfato	Braquiária	Gordura	Jaraguá
C/Calagem	Araxá	47,95 aA	46,23 aA	29,77 aB
	Patos	24,62 bA	22,83 bA	6,87 bB
	Tapira	9,10 cA	7,44 cA	0,93 bA
S/Calagem	Araxá	61,79 aA	50,55 aA	51,47 aA
	Patos	47,91 bA	56,68 aA	47,40 aA
	Tapira	42,22 bA	53,42 aA	46,69 aA
Solo LVD <sub>2</sub> (DMS Gramínea = DMS Fosfato = 5,33)				
Gramínea		Braquiária	Gordura	Jaraguá
		46,78 A	54,58 A	46,67 A
Fosfato		Araxá	Patos	Tapira
		62,85 a	44,59 b	41,10 b
Solo LEd (DMS Gramínea = DMS Fosfato = 13,05)				
Calagem	Fosfato	Braquiária	Gordura	Jaraguá
C/Calagem	Araxá	52,67 aA	62,98 aA	52,19 aA
	Patos	38,43 bA	38,42 bA	38,43 bA
	Tapira	34,58 bA	35,36 bA	30,02 bA
As médias de gramíneas seguidas de, pelo menos, uma mesma letra maiúscula numa mesma linha e as médias de fosfatos seguidas de, pelo menos, uma mesma letra minúscula, numa mesma coluna, dentro de um mesmo solo e nível de calagem, não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.				

### 3.3. Fósforo «Disponível» no Solo

A análise de variância aplicada aos resultados do teor de fósforo «disponível» no solo mostrou que, nos solos LVD<sub>1</sub> e LEd, com calagem, a interação gramínea x fosfato não influenciou significativamente, embora isto não tenha ocorrido com esses fatores separadamente. Tal comportamento ocasionou a aplicação do teste de médias para gramíneas e fosfatos separadamente (Quadro 7).

Os tratamentos com calagem apresentaram teores de fósforo «disponível» no solo inferiores aos encontrados nos tratamentos sem calagem (Quadro 7). Esse fato confirmou a suposição, levantada quando se observaram os resultados do peso de matéria seca e de fósforo na parte aérea das plantas, referentes ao primeiro e segundo cortes, de que a calagem estaria alterando a solubilização dos fosfatos.

O efeito da calagem sobre a «disponibilidade» de fósforo foi mais acentuado no solo LVD<sub>1</sub>, em comparação com os demais. Observando os resultados da análise química das amostras desses solos (Quadro 2), constatou-se que o LVD<sub>1</sub> foi o

QUADRO 7 - Médias do teor de fósforo "disponível" no solo, pelo extrator de Olsen, para os diferentes solos, com e sem calagem, após o segundo corte

Fósforo "Disponível" no Solo (ppm)					
C/Calag.	Gramínea	Braquiária	Gordura	Jaraguá	Sem Planta
		0,6 B	0,4 B	0,5 B	1,5 A
	Fosfato	Araxá	Patos	Tapira	
		1,3 a	0,5 b	0,5 b	
Solo LVd <sub>1</sub>	(DMS Gramínea = 1,14		DMS Fosfato = 1,04)		
S/Calag.	Fosfato	Braquiária	Gordura	Jaraguá	Sem Planta
	Araxá	6,1 aB	6,3 aB	12,4 aA	13,4 aA
	Patos	4,4 bA	2,7 bB	4,6 bA	3,7 cAB
	Tapira	3,3 cB	3,1 bB	3,3 cB	6,0 bA
Solo LVd <sub>2</sub>	(DMS Gramínea = 1,14		DMS Fosfato = 1,04)		
Calagem	Fosfato	Braquiária	Gordura	Jaraguá	Sem Planta
C/Calag.	Araxá	2,7 aA	2,2 aA	2,6 aA	2,6 bA
	Patos	1,5 bB	1,7 aB	1,7 abB	3,8 aA
	Tapira	1,3 bA	1,3 aA	1,0 bA	1,2 cA
S/Calag.	Araxá	9,9 aB	11,2 aA	7,7 aC	10,3 aAB
	Patos	2,6 bB	3,0 bAB	2,7 bB	3,9 bA
	Tapira	2,0 bB	2,2 bB	2,2 bB	4,4 bA
Solo LEd	(DMS Gramínea = 0,66		DMS Fosfato = 0,52)		
C/Calagem	Gramínea	Braquiária	Gordura	Jaraguá	Sem Planta
		2,1 B	1,7 B	2,1 B	2,9 A
	Fosfato	Araxá	Patos	Tapira	
		2,9 a	2,1 b	1,7 b	
Solo LEd	(DMS Gramínea = 1,13		DMS Fosfato = 1,04)		
S/Calag.	Fosfato	Braquiária	Gordura	Jaraguá	Sem Planta
	Araxá	7,9 aC	8,6 aC	10,3 aB	13,5 aA
	Patos	4,9 bA	4,5 bA	4,7 bA	5,4 cA
	Tapira	4,3 bC	4,3 bC	5,5 bB	7,0 bA

As médias de gramíneas seguidas de, pelo menos, uma mesma letra maiúscula numa mesma linha e as médias de fosfatos seguidas de, pelo menos, uma mesma letra minúscula, numa mesma coluna, dentro de um mesmo solo e nível de calagem, não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

que apresentou níveis mais elevados de alumínio trocável. Por ser importante na solubilização dos fosfatos tricálcicos (5), a neutralização desse elemento pela calagem pode ter sido o fator que mais concorreu para a menor solubilização dos fosfatos no solo LVD<sub>1</sub>. Considerando que a concentração do alumínio era menor nos solos LVD<sub>2</sub> e LEd, a pequena diferença observada, quanto ao teor de fósforo «disponível», entre os tratamentos com e sem calagem, para esses solos, pode ser mais facilmente compreendida.

Os resultados intermediários observados no solo LVD<sub>2</sub>, com relação à produção de matéria seca e ao teor de fósforo na parte aérea das plantas, provavelmente decorreram da concentração, também intermediária, de alumínio trocável nesses solos (Quadro 2), a qual deve ter influenciado na quantidade de fósforo «disponível» para as plantas.

O fosfato de Araxá destacou-se dentre os demais porque forneceu, na grande maioria dos casos, os maiores teores de fósforo «disponível», tanto nos tratamentos com calagem como nos sem calagem (Quadro 7). Os fosfatos de Patos de Minas e de Tapira praticamente não diferiram estatisticamente entre si.

A maior concentração de fósforo «disponível», observada, de modo geral, nos tratamentos sem planta, foi, certamente, uma consequência da não absorção desse nutriente.

#### 4. RESUMO

O ensaio, conduzido em casa-de-vegetação, utilizando-se amostras de três solos sob cerrado, obtidas de 0 a 20 cm de profundidade, teve como objetivo verificar o efeito da interação gramínea-solo, na presença e ausência de calagem, sobre a eficiência dos fosfatos naturais de Araxá, de Patos de Minas e de Tapira.

Os fosfatos foram aplicados em quantidades suficientes para que se tivesse o equivalente a 0,5 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por quilograma de solo. As gramíneas forrageiras empregadas foram o capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.), o capim-gordura (*Melinis minutiflora* Pal. de Beauv.) e o capim-jaraguá (*Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf).

O ensaio foi montado num delineamento inteiramente casualizado, sendo os fatores solo, calagem, fosfato e gramínea combinados num esquema fatorial (3 x 2 x 3 x 4) 3.

A parte aérea das gramíneas foi submetida a dois cortes, realizados, respectivamente, aos 90 e 150 dias depois do plantio, determinando-se, depois, o peso da matéria seca e o teor de fósforo acumulado na parte aérea das plantas. Depois do segundo corte, os solos rizosféricos e os não rizosféricos foram submetidos a análises químicas.

Os resultados obtidos mostraram que, nos solos LVD<sub>1</sub> e LVD<sub>2</sub>, a calagem influenciou negativamente na produção de matéria seca e na quantidade de fósforo acumulado na parte aérea das plantas; contudo, no solo LEd, o efeito sobre esses parâmetros foi positivo, evidenciando a importância da qualidade do solo na obtenção de resposta a esse tratamento.

No que diz respeito à solubilização dos fosfatos, a calagem foi prejudicial, e a intensidade desse efeito variou de acordo com as características físicas e químicas dos solos, principalmente com relação ao alumínio trocável.

Dos fosfatos empregados, o de Araxá foi o menos prejudicado em sua solubilização, quer nos tratamentos com calagem, quer nos sem calagem, apresentando, na maioria dos casos, teores mais elevados de fósforo «disponível» no solo.

O fosfato de Patos de Minas, na maioria dos casos, equiparou-se ao fosfato de

Tapira quanto às produções de matéria seca, de fósforo acumulado na parte aérea das plantas e de fósforo «disponível» no solo.

## 5. SUMMARY

Greenhouse experiments were undertaken in which three species of forage grass were grown in three «cerrado»-type soils, with and without lime, and with rock phosphates from three sources, to determine various interactions among these factors.

The rock phosphates — Araxá, Patos de Minas, and Tapira — were used at rates equivalent to 0.5 g of  $P_2O_5$ /kg of soil. The three species of grass were: *Brachiaria decumbens* Stapf. («braquiária»), *Melinis minutiflora* Pal. de Beauv. («gordura»), and *Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf. («jaraguá»).

A completely randomized (3 x 2 x 3 x 4) 3 factorial experimental design was employed. The aerial parts of the grass were cut twice, 90 and 150 days after sowing, and dry matter weight and phosphorus content of plants determined. After the second cutting, the rhizospheric and non-rhizospheric portions of the soils were analyzed chemically.

The results showed that lime affected negatively the dry matter yield and the phosphorus content of plants grown in the soils LVd, and LVd<sub>2</sub>; however, in the soil LEd, the effect on these parameters was positive. Lime, in general, had a negative effect on the solubilization of the phosphates. This effect was most significant for the soil (LVd<sub>1</sub>) with the highest level of exchangeable aluminum.

The Araxá rock phosphate gave, in general, in both limed and unlimed soils, the highest dry matter yield, plant phosphorus content, and available soil phosphorus. Among the phosphates tested, its solubility was the least affected by lime. The rock phosphates from Patos de Minas and Tapira had similar effects on dry matter yield, plant phosphorus content, and available soil phosphorus.

## 6. LITERATURA CITADA

1. ALVIM, P.T. & ARAUJO, W.A. El suelo como factor ecológico en el desarrollo de la vegetación en el centro-oeste del Brasil. *Turrialba*, 2 (4):153-160. 1952.
2. BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e material vegetal. *Rev. Ceres*, 21(113):73-85. 1974.
3. BUENO, N. *Efeito residual de fosfatos naturais, parcialmente acidificados, na cultura de sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench, em um material de solo sob cerrado*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1977. 90 p. (Tese M.S.).
4. CATANI, R.A. *Manual de controle de qualidade de fertilizantes*. São Paulo, ANDA, 1973. 68 p.
5. CHU, C.R., MOSCHLER, W.W. & THOMAS, G.W. Rock phosphate transformations in acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 26(5):476-478. 1962.
6. FERRI, M.G. Ecologia dos cerrados. In: *IV Simpósio sobre o cerrado — Bases para utilização agropecuária*. Belo Horizonte, Ed. Itatiaia Ltda, 1977. p. 15-36.

7. JACKSON, M.L. Análisis químico de suelos. 2 ed. Barcelona, Ediciones Omega, 1970. 662 p.
8. McCLUNG, A.C., FREITAS, L.M.M., GALLO, J.R., QUINN, L.R. & MOTT, G.O. Alguns estudos preliminares sobre possíveis problemas de fertilidade, em solos de diferentes campos cerrados de São Paulo e Goiás. *Bragantia*, 17(3): 29-44. 1958.
9. MENDES, J.F. Características química e física de alguns solos sob cerrado. In: *Anais da II.ª Reunião Brasileira de Cerrado*. 2 ed. Belo Horizonte, Itatiaia, 1972. p. 51-62.
10. NOVAIS, R.F. *Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soils*. Raleigh, North Carolina State University, 1977. 153 p. (Tese Ph.D.).
11. ROSCOE, E. Jr., QUADER, M.A. & TRUOG, R. Rock phosphate availability as influenced by soil pH. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 19 (4):484-487. 1955.
12. SHOEMAKER, H.E., McLEAN, E.O. & PRATT, P.F. Buffer methods of determining lime requirements of soil with appreciable amounts of extractable aluminum. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 25 (4): 274-276. 1961.
13. SOUZA, J. *Fosfatos naturais como fonte de fósforo, em diferentes períodos de incubação em dois solos*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1977. 55 p. (Tese M.S.).
14. VETTORI, L. *Métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro, EPE, 1969. 24 p. (Bol. Téc., 7).
15. WUTKE, A.C.P., SCHIMIDT, N.C., AMARAL, A.Z., VERDADE, F.C., IGUE, K. Disponibilidade de fosfatos naturais em função do pH do solo. *Bragantia*, 21 (17):271-284. 1962.
16. YOST, R.S., KAMPRATH, E.J., LOBATO, E., NADERMAN, G.C. & SOARES, W.V. Residual effect of phosphorus application. In: *Tropical Soils-Research Program. Annual report for 1975*. North Carolina, U.S. Agency for International Development, 1976. p. 26-32.