

# EFEITOS DA CALAGEM E DE FONTES DE FÓSFORO NO RENDIMENTO DA SOJA EM DOIS SOLOS DE CERRADO<sup>1</sup>

Huberto José Kliemann<sup>2</sup>

## ABSTRACT

Effects of Liming and Phosphate Sources on the Soybean Yield on Two Cerrado Soils

To evaluate the effects of phosphate rates and sources in a *LV* (red yellow latosol) and a *LE* (dark red latosol)(Oxisols) under cerrado vegetation soybean was grown for three consecutive years with and without liming. Triple superphosphate (SFT), *Yoorin* thermophosphate (TFY), and Catalão apatite (AC), with 48.4, 17.6 and 37.8 (insoluble in citric acid 2%) %  $P_2O_5$ , respectively. Under SFT and TFY soybean yields in the limed treatments were found equivalent. Due to its basic reaction, TFY showed higher yields in both unlimed soils as compared to SFT. Soil acidity did not release phosphorus from AC along three years. The estimated Mitscherlich equation coefficients employed to predict soybeans yields as a function of applied phosphorus rates permit reliable interpretations only in the absence of limiting factors, such as soil acidity.

KEY WORDS: Oxisols, soil acidity, phosphates, solubility, residual effect.

## RESUMO

Conduziram-se experimentos, com três plantios consecutivos de soja em um solo *LV* distrófico epi-álico e em um *LE* distrófico, ambos sob vegetação de cerrado, na ausência e presença de calagem, para avaliar os efeitos de doses de fontes de fósforo. Usaram-se o superfosfato triplo (SFT) com 48,4% de  $P_2O_5$ , o termofosfato YOORIN (TFY) com 17,6% de  $P_2O_5$  e apatita de Catalão (AC) com 37,8% de  $P_2O_5$ , insolúvel em ácido cítrico a 2%. Os rendimentos de soja, obtidos em função das doses do SFT e do TFY, foram equivalentes na presença de calagem. Devido a sua reação básica, o TFY mostrou rendimentos mais elevados nos dois solos na ausência de calagem, quando comparado ao SFT. A acidez do solo não surtiu efeito na liberação do fósforo da apatita de Catalão ao longo de três anos de plantios consecutivos. Os coeficientes estimados da equação de Mitscherlich, usados para prever os rendimentos de soja em função das doses de fosfatos aplicadas, permitem interpretações confiáveis somente na ausência de fatores limitantes, tais como a acidez dos solos.

PALAVRAS-CHAVE: Latossolos, acidez, fosfatos, solubilidade, efeito residual.

<sup>1</sup> Entregue para publicação em dezembro de 1995.

<sup>2</sup> Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás - Cx. Postal 131, CEP 74001-970. Goiânia - GO.

## INTRODUÇÃO

A eficiência agrônômica de fosfatos naturais é atribuída às diferenças na solubilidade e às características dos solos e plantas.

A solubilidade é decorrente das características intrínsecas dos fosfatos, tais como a origem, os graus de cristalização dos minerais e da substituição do  $\text{PO}_4^{3-}$  por  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{F}^-$  e pela granulometria (Lehr & McClellan 1972, Chien 1977).

As características dos solos que mais influenciam na eficiência agrônômica de fosfatos são pH, concentração de  $\text{Ca}^{++}$  no solo e capacidade e tempo de retenção do fósforo (Dyria 1977, Chien *et al.* 1980, Moreira *et al.* 1991).

A solubilidade dos fosfatos naturais em ácido cítrico a 2 % é um bom critério para se avaliar a sua eficiência agrônômica (Oliveira *et al.* 1984).

A acidez dos solos (com alto teor de  $\text{Al}^{+++}$  trocável) aparentemente exerce efeito solubilizador sobre os fosfatos naturais. Todavia, esse efeito é fortemente dependente do tipo de solo (arenoso ou argiloso). Kaminski & Mello (1984) verificaram que a produção de matéria seca e a absorção de P pelo sorgo são estimuladas pela aplicação simultânea de calcário e fosfato natural em solo argiloso ácido; em solo arenoso, a aplicação de calcário antes da, junto com e após a aplicação do fosfato é totalmente ineficiente.

Dados de diversos pesquisadores, trabalhando em solos ácidos e com alumínio trocável em nível tóxico e culturas sensíveis à acidez, sugerem que os prejuízos para as culturas são maiores do que os eventuais benefícios da solubilização dos fosfatos pela acidez do solo (Mascarenhas *et al.* 1978, Novelino 1983, Kaminski & Mello 1984).

O efeito residual de fertilizantes é avaliado pelas produções obtidas em plantios consecutivos, com ou sem adubações adicionais nos anos subsequentes ao primeiro cultivo (Lathweel 1979, Miranda *et al.* 1980, Goedert & Lobarto 1984). Segundo Miranda *et al.* (1980), o efeito da aplicação de 160 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$  /ha somente cessou após 10 anos de plantios consecutivos, obtendo-se a produção acumulada de 44 t/ha de grãos de milho. O efeito residual dos fosfatos, de acordo com Goedert *et al.* (1986), mostra valores da seguinte ordem: segundo ano, 50%; terceiro ano, 30%; quarto ano, 20% em solos de cerrado.

O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito da calagem de doses de fontes de fósforo solúvel na produção de grãos de soja em dois latossolos sob vegetação de cerrado e o efeito da acidez na solubilização da apatita de Catalão (GO).

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em dois solos com as seguintes características:

- Goiânia(GO): solo LE distrófico, fase cerrado, com 58% de areia, 9% de silte e 38 de argila; 1,91% de carbono; 1  $\mu\text{g/ml}$  de P; 27  $\mu\text{g/ml}$  de K; 2,50  $\text{cmol}^+/ \text{kg}$  de Ca+Mg; 20  $\text{cmol}^+/ \text{kg}$  de Al; 5,90  $\text{cmol}^+/ \text{kg}$  de H; pH em água: 5,80;
- Alto Paraíso(GO): solo LV argiloso distrófico, álico, fase cerrado com 5% de areia, 28% de silte e 67% de argila; 2% de carbono; 1,0  $\mu\text{g/ml}$  de P; 58  $\mu\text{g/ml}$  de K; 1,10  $\text{cmol}^+/ \text{kg}$  de Ca+Mg; 1,10  $\text{cmol}^+/ \text{kg}$  de Al; 7,00  $\text{cmol}^+/ \text{kg}$  de H; pH em água: 4,80.

Usou-se o delineamento experimental em parcelas subdivididas: ausência e presença de calagem nas parcelas; níveis de  $P_2O_5$  nas subparcelas e duas repetições. Usaram-se parcelas experimentais com área total de  $18 \text{ m}^2$  (5 m de comprimento por 2,4 m de largura), com seis fileiras de soja, espaçadas de 0,60 m. Para tomada dos dados de produção de grãos de soja utilizaram-se as quatro fileiras centrais, desprezando 1 m de cada extremidade, obtendo-se  $7,2 \text{ m}^2$  de área útil.

A avaliação estatística dos dados de produção de grãos de soja foi feita pela equação de Mitscherlich (Mitscherlich 1930):-

$$Y = A[1 - 10^{-c(x+b)}],$$

onde Y é a produção estimada (kg/ha); A, a produção máxima teórica; c, o coeficiente de eficácia; b, a quantidade do nutriente disponível no solo; e x, a dose do fertilizante. Para a estimativa dos parâmetros da equação empregou-se o algoritmo iterativo de Marquadt (1963) e o software de Borato (1985) para solução de equações não-lineares. Para estimar o efeito residual dos fosfatos usou-se a fórmula de Pimentel Gomes (1955/6, 1985), representado por:

$$h' = c/c'$$

$$h'' = c/c''$$

onde h' e h'' são os efeitos residuais do segundo e do terceiro ano, respectivamente; c, c' e c'', os coeficientes de eficácia do fertilizante no primeiro, no segundo e no terceiro ano, respectivamente.

Como fontes de fósforo usaram-se os fertilizantes: a) superfosfato triplo, com 48,44% de  $P_2O_5$  total e 46,25% solúvel em ácido cítrico a 2% (1:100); b) termofosfato YOORIN, com 17,60% de  $P_2O_5$  total e 14,95% solúvel em ácido cítrico a 2% (1:100), 27,85% de CaO, 14,77% de MgO e 24,44% de  $SiO_2$ ; c) fosfato (apatita) de Catalão, com 37,81% de  $P_2O_5$  total, insolúvel em ácido cítrico a 2% (1:100); dados de granulometria: 2,0% passando em peneira de 60 mesh; 9,0% em 60-100 mesh; 12,0% em 100-150 mesh; 15,9% em 150-200 mesh e 61,2% em peneira menor de 200 mesh.

Aplicou-se calcário, com 39% de CaO, 13% de MgO e 75% de PRNT. No solo de Goiânia aplicaram-se 2,0 t/ha, e em Alto Paraíso, 4,0 t/ha, compensando-se as quantidades para PRNT de 100%. A incorporação foi feita a 20 cm de profundidade, antes da primeira aração.

Os fosfatos foram aplicados manualmente, a lanço, nos níveis de 0, 75, 150, 300 e 600 kg/ha e incorporados após a segunda aração; em seguida, aplicaram-se o potássio (200 kg/ha de  $K_2O$ ) na forma de cloreto de potássio; o zinco (20 kg/ha de Zn) na forma de sulfato de zinco; os outros micronutrientes na forma de fritas (Br-12, 20 kg/ha). A seguir, fez-se a gradagem das parcelas.

As sementes de soja (cultivar UFV-1) foram previamente inoculadas antes do plantio. Não se aplicou nitrogênio. A partir do segundo ano, somente se fez adubação potássica, com 100 kg/ha de  $K_2O$  na forma de cloreto de potássio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontram-se os dados de produção de grãos de soja e nas Figuras 1 e 2, as curvas de regressão para a equação de Mitscherlich, em função das doses de fontes de fósforo (superfosfato triplo, termosfosfato YOORIN e apatita de Catalão), na ausência e presença de calagem, obtidos por três anos de plantios consecutivos.

As doses de fosfatos industrializados (superfosfato triplo e termosfosfato YOORIN), no aspecto geral, mostram eficiência similar; as doses da apatita de Catalão, ao contrário, proporcionaram rendimentos (imediatos e residuais) semelhantes aos das testemunhas durante os três anos de plantios consecutivos de soja nos solos.

Tabela 1: Produção de grãos de soja (kg/ha) em função de três fontes de fósforo, na ausência e presença de calagem em três anos de plantios consecutivos (médias de duas repetições)

Calagem	Níveis P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	Fontes de fósforo									
		Superfosfato triplo			Termosfosfato YOORIN			Fosfato de Catalão			
		Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 1	Ano 2	Ano 3	
Goiânia - LE distrófico, textura média, fase cerrado											
Ausência	0	521	595	577		595	577		521	595	577
	75	1464	1721	759	1998	1234	756	792	634	492	
	150	2044	2465	1025	2744	2483	1330	793	803	642	
	300	2456	2646	1894	2867	2897	1615	1164	1012	756	
	600	2885	3008	2359	2970	2855	2095	1344	1208	853	
Presença	0	802	680	537	802	680	537	802	680	537	
	75	2145	1331	689	2720	1505	590	975	457	411	
	150	2995	2425	1084	2911	2262	1091	1069	794	668	
	300	3108	3022	1960	3069	2820	1771	1000	787	659	
	600	3353	3021	2297	3565	3041	2220	1095	1087	849	
Alto Paraíso - LV argiloso distrófico, epi-álico, fase cerrado											
Ausência	0	137	143	102	137	143	102	137	143	102	
	75	435	359	301	1090	920	680	234	194	150	
	150	783	720	578	1782	1437	920	128	193	184	
	300	887	840	773	1976	1660	1017	145	199	183	
	600	1364	1020	1010	2413	1977	1233	228	201	195	
Presença	0	303	310	256	303	310	256	303	310	256	
	75	1667	1437	1013	1699	1497	1035	310	309	270	
	150	2278	1980	1604	2325	1998	1460	370	339	295	
	300	2799	2410	1950	2858	2354	1950	495	395	310	
	600	3136	2670	1920	2860	2471	2017	573	437	376	

Na avaliação de fosfatos em solos sob vegetação de cerrado, é essencial que sejam avaliados os efeitos conjuntos da calagem e da fosfatagem e sua interação com o solo. No latossolo vermelho-escuro distrófico de Goiânia, praticamente sem alumínio tóxico, os efeitos da calagem não foram muito pronunciados, tanto os imediatos quanto os residuais. No latossolo vermelho-amarelo distrófico de Alto Paraíso, com elevado teor de alumínio trocável, os efeitos da calagem foram significativos já a partir do primeiro ano de cultivo.

A calagem, além de neutralizar a acidez do solo e os efeitos tóxicos do alumínio e do manganês, promove ainda a diminuição das superfícies de retenção de ânions, principalmente dos fosfatos (Paauw 1965). Khasawneh & Doll (1978) recomendam a aplicação de fosfatos de baixa solubilidade como as apatitas, antes da calagem, para possibilitar a sua dissolução pela ação dos íons de hidrogênio. Uma calagem posterior corrigiria os efeitos maléficos da acidez do solo.

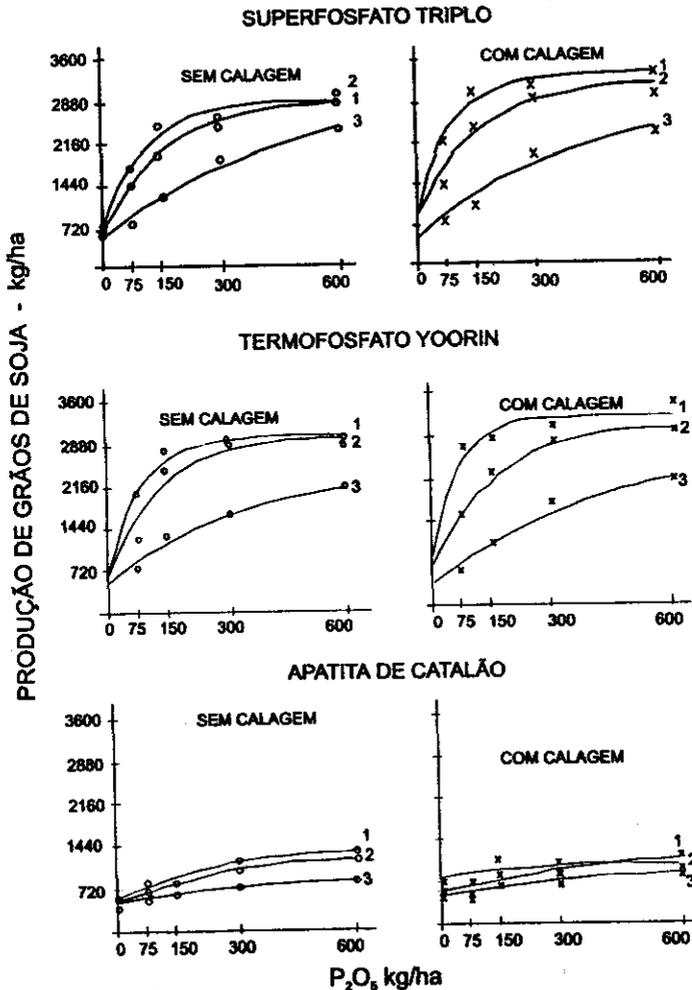


Figura 1 - Curvas de resposta de produção de grãos de soja (kg/ha) em função de doses fortes de fosfatos (superfosfato triplo, termofosfato YOORIN e apatita de Catalão), na ausência e presença de calagem, em três anos (1, 2 e 3) de plantios consecutivos no solo LE distrófico, fase cerrado. Goiânia, GO

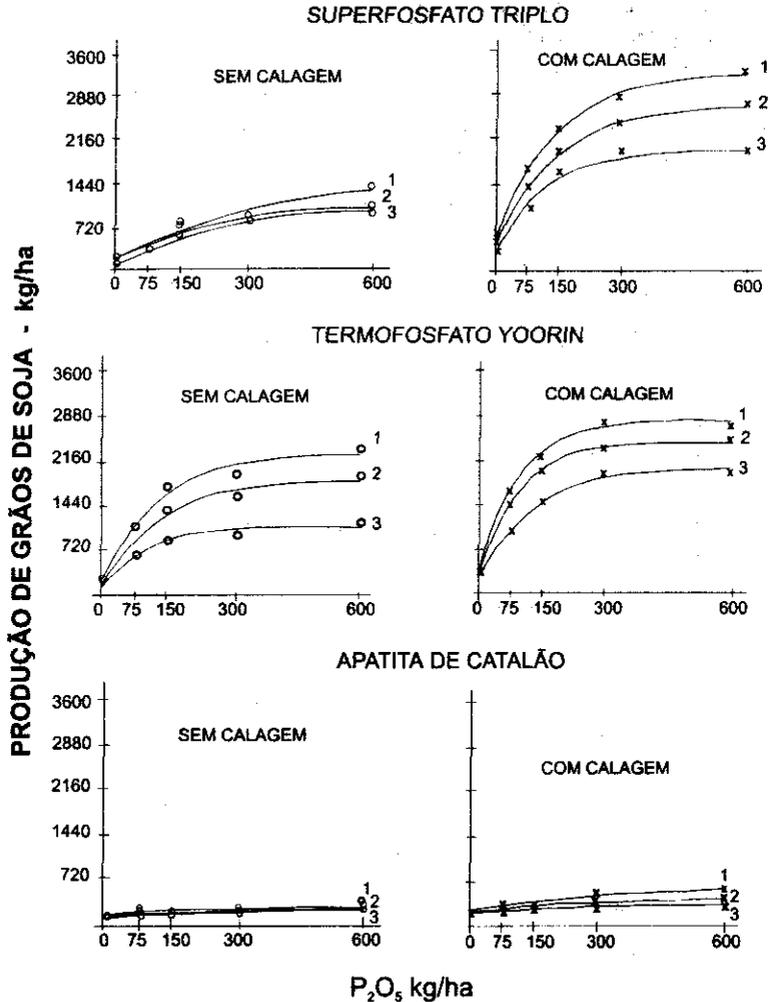


Figura 2 – Curvas de resposta de produção de grãos de soja (kg/ha) em função de doses fortes de fosfatos (superfosfato triplo, termofosfato YOORIN e apatita de Catalão), na ausência e presença de calagem, em três anos (1, 2 e 3) de plantios consecutivos no solo LV distrófico epi-álico, fase cerrado. Alto Paraíso, GO

No solo de Alto Paraíso, LV distrófico epi-álico, como se poderia esperar, a acidez não foi capaz de liberar o fósforo da apatita de Catalão, uma vez que a mesma é totalmente insolúvel em ácido cítrico a 2%, mas se fizeram sentir apenas os efeitos tóxicos do alumínio trocável (1,1 cmol<sup>+</sup>/kg). No solo de Goiânia, LE distrófico, a ausência de alumínio trocável (0,2 cmol<sup>+</sup>/kg) em nível não tóxico e um nível razoável de cálcio+magnésio (2,5 cmol<sup>+</sup>/kg) proporcionaram rendimentos ligeiramente maiores do que os do solo LV distrófico epi-álico de Alto Paraíso, na ausência de calagem. Entretanto, esses rendimentos não podem ser atribuídos às doses de apatita de Catalão aplicadas.

Diante do exposto, a possível ação solubilizadora dos fosfatos pela acidez é totalmente mascarada pelos efeitos prejudiciais da toxidez do alumínio, como também atestam Mascarenhas *et al.* (1978) e Kaminski & Mello (1984). Cantarutti *et al.* (1981), ao contrário, obtiveram maiores rendimentos de matéria seca de milho, com aplicação e incubação antecipada (por 30 dias) do fosfato de Araxá à aplicação de calcário, em um solo com alto teor de alumínio trocável.

A reação básica do termofosfato YOORIN teve efeito pronunciado na produção de soja nos dois solos quando comparada à do superfosfato triplo, na ausência de calagem. O termofosfato YOORIN possui, assim, certo poder de neutralização da acidez na ausência da calagem, embora os rendimentos sejam inferiores aos obtidos na sua presença. Nessa última situação, os dois fosfatos mostraram eficiência equivalente, tanto imediata quanto residual.

Utilizou-se a equação de Mitscherlich para quantificar a resposta às doses de fosfatos aplicados, cujos coeficientes de regressão ( $A$ ,  $b$  e  $c$ ) e determinação ( $R^2$ ) encontram-se na Tabela 2. Segundo Pimentel Gomes (1955/56, 1985), os coeficientes de regressão ajustam-se estreitamente quando os dados experimentais são muito precisos ou, então, se dispõe de um número elevado de experimentos.

As produções máximas teóricas ( $A$ ) são coerentes com os dados experimentais (Tabela 2). O coeficiente  $b$ , que estima a quantidade de nutriente disponível no solo, deve ser analisado com cautela, uma vez que, à medida que aumenta o tempo de cultivo dos solos, ocorre o esgotamento do nutriente em estudo e também maiores valores para  $b$  são estimados, chegando a valores absolutamente irrealistas, como ocorreu com a apatita de Catalão no solo LE de Goiânia (ausência e presença de calagem) e no solo de LV de Alto Paraíso, na presença de calagem.

Pela Tabela 2 verifica-se que o coeficiente de eficácia  $c$  é modificado pela mudança nas condições ambientais do solo. Neste trabalho o valor de  $c$  dos fertilizantes fosfatados solúveis tende a ser mais elevado com a correção da acidez do solo e o aumento dos teores de cálcio e magnésio no solo. Conseqüentemente, obtém-se maior eficácia no aproveitamento do fertilizante fosfatado em culturas exigentes como a soja. Goederdt & Lobato (1980) recomendam que a fosfatagem sem calagem somente seja usada com culturas tolerantes à acidez.

No caso da apatita de Catalão, os coeficientes de regressão calculados ( $A$ ,  $b$  e  $c$ ) e de determinação ( $R^2$ ) não possuem valor prático, pois além de não apresentarem significância estatística na maioria das equações ajustadas, a ausência da calagem diminuiu drasticamente a produção de soja ao longo de três anos de plantios consecutivos, não

surtindo, portanto, o esperado efeito da acidez do solo na liberação do fósforo da apatita de Catalão. Pode-se inferir daí que sua solubilidade e sua eficiência agrônômica são praticamente nulas.

Tabela 2: Coeficientes de regressão da equação de Mitscherlich para a produção de grãos (kg/ha) em função de fontes de fósforo, na ausência e presença de calagem, em três plantios consecutivos

Fontes de Fósforo	Ano	Calagem							
		Ausência				Presença			
		A <sup>1</sup>	b <sup>1</sup>	c <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	A	b	c	R <sup>2</sup>
<b>Goiânia - LE</b>									
Superfósforo triplo	1	2883	32	0,00283	0,996 <sup>3</sup>	3310	24	0,00493	0,989 <sup>2</sup>
	2	2940	24	0,00401	0,988 <sup>3</sup>	3193	29	0,00280	0,961 <sup>3</sup>
	3	2992	73	0,00104	0,980 <sup>3</sup>	2936	62	0,00108	0,956 <sup>3</sup>
Termofósforo YOORIN	1	2967	14	0,00581	0,995 <sup>3</sup>	3280	17	0,00751	0,963 <sup>3</sup>
	2	3020	23	0,00334	0,942 <sup>2</sup>	3125	35	0,00285	0,995 <sup>3</sup>
	3	2439	88	0,00124	0,972 <sup>2</sup>	2962	68	0,00094	0,963 <sup>2</sup>
Apatita de Catalão	1	1525	145	0,00128	0,964 <sup>3</sup>	968	170	0,00384	0,307 ns
	2	1389	167	0,00117	0,994 <sup>3</sup>	1359	318	0,00070	0,697 ns
	3	1223	509	0,00048	0,854 ns <sup>4</sup>	1084	374	0,00065	0,748 ns
<b>Alto Paraíso - LV</b>									
Superfósforo triplo	1	1553	35	0,00132	0,970 <sup>3</sup>	3101	13	0,00360	0,997 <sup>3</sup>
	2	1053	23	0,00234	0,974 <sup>3</sup>	2649	15	0,00360	0,998 <sup>3</sup>
	3	1112	22	0,00165	0,992 <sup>3</sup>	1993	13	0,00396	0,989 <sup>3</sup>
Termofósforo YOORIN	1	2352	8	0,00337	0,985 <sup>3</sup>	2910	11	0,00445	0,998 <sup>3</sup>
	2	1943	10	0,00331	0,992 <sup>3</sup>	2460	13	0,00454	0,999 <sup>3</sup>
	3	1171	11	0,00408	0,982 <sup>3</sup>	2071	17	0,00331	0,997 <sup>3</sup>
Apatita de Catalão	1	184	11	0,05189	0,161 ns	746	274	0,00074	0,960 <sup>3</sup>
	2	198	40	0,01402	0,986 <sup>3</sup>	564	598	0,00055	0,960 <sup>3</sup>
	3	192	64	0,00507	0,977 <sup>3</sup>	551	725	0,00037	0,981 <sup>3</sup>

1 - Coeficientes de regressão da equação de Mitscherlich: A - produção máxima teórica; b - teor estimado de nutriente no solo; c - coeficiente de eficácia do fertilizante.

2 - Significativo a 1% de probabilidade.

3 - Significativo a 5% de probabilidade.

4 - Não significativo a 5% de probabilidade.

A avaliação do efeito residual de fertilizante pela relação dos coeficientes de eficácia (c) da equação de Mitscherlich implica que os mesmos apresentem valores decrescentes do primeiro ano para os subsequentes, como se pode deduzir de Pimentel Gomes (1955-56). Parte dos coeficientes de eficácia (c), constantes na Tabela 2, mostra que os mesmos não se coadunam com a premissa acima. Aventa-se a hipótese de que os coeficientes de eficácia sejam aplicáveis somente em condições de ausência de outros fatores limitantes que o(s) nutriente(s) em estudo e que o processo de adsorção dos ânions,

no caso presente do  $PO_4^{3-}$ , já tenha entrado em equilíbrio com a solução do solo. No solo LV de Alto Paraíso, cultivado pela primeira vez, talvez esse processo não tenha entrado em equilíbrio, ao contrário do LE de Goiânia, já cultivado durante alguns anos antes da instalação do experimento.

De um modo geral, pode-se dizer que os coeficientes da equação de Mitscherlich ( $A$ ,  $b$  e  $c$ ), usados para predizer os rendimentos de soja em função das doses de fosfatos aplicadas, somente permitem interpretações confiáveis na ausência de fatores limitantes, como a acidez do solo.

Tabela 3: Efeito residual do superfosfato triplo e do termofosfato YOORIN, estimados pela relação dos coeficientes de eficácia da equação de Mitscherlich no solo LE distrófico de Goiânia

Fosfatos	Anos	Calagem	
		Ausência	Presença
Superfosfato triplo	1 <sup>o</sup> /2 <sup>o</sup>	-	57
	1 <sup>o</sup> /3 <sup>o</sup>	37	22
Termofosfato YOORIN	1 <sup>o</sup> /2 <sup>o</sup>	58	38
	1 <sup>o</sup> /3 <sup>o</sup>	21	12

Diante disso, apenas as relações dos coeficientes  $c$  do solo LE de Goiânia puderam ser utilizadas para estimar o efeito dos fosfatos solúveis, como consta na Tabela 3.

Na presença da calagem, o efeito residual do superfosfato triplo do segundo ano foi de 58%, e no terceiro ano, de 2%. Efeitos residuais semelhantes foram observados para o termofosfato YOORIN: na ausência da calagem verificou-se o efeito residual de 58% no segundo ano e de 22% na presença de calagem. No terceiro ano os efeitos residuais também foram proporcionalmente decrescentes. Outrossim, os efeitos residuais menores dos fosfatos solúveis no segundo e terceiro anos, na presença de calagem, são devidos às maiores exportações de fósforo nos solos no primeiro ano e menor disponibilidade nos anos subsequentes.

## CONCLUSÕES

Os rendimentos de soja em função das doses de superfosfato triplo e de termofosfato YOORIN são equivalentes na presença de calagem.

O termofosfato YOORIN, devido à sua reação básica, possui certo efeito neutralizador da acidez dos dois solos e proporciona rendimentos maiores quando comparado ao superfosfato triplo na ausência de calagem.

A acidez do solo não surtiu efeito na liberação do fósforo da apatita de Catalão ao longo de três anos de plantios consecutivos de soja.

Os coeficientes da equação de Mitscherlich, utilizados na predição do rendimento de soja, somente permitem interpretações confiáveis na ausência de fatores limitantes, como a acidez do solo.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borato, F. 1984.** Basic para engenheiros e cientistas. Rio de Janeiro. LTC. 120 p.
- Cantarutti, R. B., J. M. Braga, R. F. L. Novais & J. T. L. Thiébaud. 1981.** Época de aplicação de fosfato natural em relação à calagem, num solo com elevado teor de alumínio trocável. R. Bras. Ci. Solo. Campinas, SP., 5 (2): 129-33.
- Chien, S. H. 1977.** Dissolution of phosphate rock in a flooded acid soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 41: 1106-9.
- Chien, S. H. W. R. Clayton & G. H. McClellan. 1980.** Kinetics of dissolution of phosphate rocks in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 44: 260-4.
- Dynia, J. H. 1977.** Efeito do pH e da capacidade de retenção de fósforo na eficiência de adubos fosfatados. Tese de Mestrado. Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, RS. 61p.
- Godert W. J. & E. Lobato. 1984.** Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, SP., 8 (1): 97-102.
- Godert, W. J., D. M. G. Souza & E. Lobato. 1986.** Fósforo. In Godert, W.J., Ed., Solos dos cerrados, tecnologias e estratégias de manejo. Brasília, DF. EMBRAPA/CPAC, p. 129-66.
- Kaminski, J. & F. A. F. Mello. 1989.** Épocas de aplicação de fosfatos em relação em relação ao calcário no suprimento de fósforo ao sorgo. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, SP., 8 (3): 297-300.
- Khasawneh, F. E. & E. C. Doll. 1978.** The use of phosphate rock for direct application to soils. Adv. Agron., N. York, 30: 159-206.
- Lathwell, D. J. 1979.** Phosphorus response on Oxisols and Ultisols. N. York, Cornell Univ. Ithaca. (Boletim técnico, 33).
- Lehr J. R. & G. H. McClellan. 1972.** A revised laboratory reactivity for evaluating phosphate rocks for direct application. Muscle shoals, Alabama, National Fertilizer Development Center. 36p. (Bulletin, y-43).
- Marquadt, D. W. 1963.** An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters. J. Soc. Ind. Appl. Math., New York, 11: 431-1.
- Mascarenhas, H. A. A., O. C. Bataglia, C. T. Feitosa, V. Novais, R. Hiroce & N. R. Braga. 1978.** Resposta da soja a adubos fosfatados em solos de cerrado. Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, SP., 28p. (Boletim técnico, 54).
- Miranda, L. N., L. Mielniczuk & E. Lobato. 1980.** Calagem e adubação corretiva. In Simpósio do Cerrado. Brasília, DF. 5: 251-78.
- Mitscherlich, E. A. 1930.** Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Boden. Berlin, Paul Harey.
- Moreira, J. F., N. F. Barros, N. F. Novais, J. C.L. Neves & P. G. L. Leal. 1991.** Efeito do tempo de contato do fosfato com o solo sobre a sua disponibilidade para mudas de eucalipto. R. Bras. Ci. Solo. Campinas, SP., 15 (3): 303-8.

- Novelino, J. O. 1983.** Solubilização de apatita de Araxá em diferentes tempos de incubação com amostras de cinco latossolos na presença e ausência de calagem. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, MG. 39 p.
- Oliveira, E. L., O. Muzilli, K. Igue, M. T. T. Tornero. 1984.** Avaliação da eficiência agronômica dos fosfatos naturais. R. Bras. Ci. Solo. Campinas, SP., 8(1): 63-7.
- Paauw, F. 1965.** Factors controlling the efficiency of rock phosphates for potatoes and rye on humic sandy soils. Plant & Soil, The Hague, 2: 81-98.
- Pimentel Gomes F. 1955/56.** A estimativa do efeito residual de fertilizantes por meio da lei de Mitscherlich. Anais Esc. Superior Agr. "Luiz de Queiros", Piracicaba, SP., 12: 69-75.
- Pimentel Gomes, F. 1985.** Estatística experimental. 11 Ed., rev./ampl. São Paulo, Nobel. 466 p.