

# COMISSÃO II - QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO

## INTERAÇÕES QUÍMICAS DO SULFATO E CARBONATO DE CÁLCIO EM SEIS SOLOS PAULISTAS SOB VEGETAÇÃO DE CERRADO<sup>(1)</sup>

A. R. A. NOGUEIRA<sup>(2)</sup> & A. A. MOZETO<sup>(3)</sup>

PROCI-1990.00023  
NOG  
1990  
SP-1990.00023

### RESUMO

Coletaram-se, em 1985, seis solos sob vegetação de cerrado, característicos do Estado de São Paulo, para estudar as interações químicas do solo na aplicação de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; realizaram-se os mesmos experimentos também com  $\text{CaCO}_3$  e a partir da combinação  $\text{CaCO}_3 + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Observou-se, nos tratamentos com sulfato, uma redução significativa ( $P \leq 1\%$ ) nos valores de pH, aumento nos teores de Ca e  $\text{SO}_4$  e, no latossolo roxo, diminuição significativa nos teores de Al. Nos outros solos, as quantidades de Al só diminuíram após incubação com  $\text{CaCO}_3$ . Ocorreu também a formação de complexos solúveis neutros do tipo  $\text{CaSO}_4^0$ ,  $\text{MgSO}_4^0$  e  $\text{K}_2\text{SO}_4^0$ . A combinação sulfato + carbonato, principalmente nos solos mais ácidos, apresentou menor perda de magnésio e potássio.

**Termos de indexação:** química dos solos, calcário, gesso, solos tropicais

**SUMMARY:** CHEMICAL INTERACTIONS OF GYPSUM AND LIME IN SIX SOILS OF "CERRADO" AREAS IN SÃO PAULO STATE, BRAZIL

Six soils of "cerrado" areas, were collected in 1985, throughout the State of São Paulo, Brazil, to study the chemical interactions that occurred when calcium sulfate, calcium carbonate and calcium sulfate-carbonate were applied. The calcium sulfate treatment generated a substantial decrease in pH while calcium and sulfate increased it. Decrease in aluminum was observed in "latossolo roxo" (clay) after treatment with calcium sulfate. Aluminum in the other soils decreased only when calcium carbonate was added. The formation of neutral soluble ion pairs such as  $\text{CaSO}_4^0$ ,  $\text{MgSO}_4^0$  and  $\text{K}_2\text{SO}_4^0$  was observed. The combined treatment (sulfate-carbonate) applied to the soils showed differential loss of magnesium and potassium.

*Index terms:* soil chemistry, liming, gypsum, tropical soils.

### INTRODUÇÃO

O calcário é empregado com o objetivo de elevar o pH e prover o solo de quantidades adequadas de cálcio e magnésio. No entanto, neutraliza o alumínio e aumen-

ta os teores de cálcio e magnésio, principalmente na região onde é aplicado, devido à sua baixa solubilidade. Dependendo do sistema radicular, a vegetação não se desenvolve totalmente, pois o alumínio é neutralizado somente na camada arável (0-20cm de profundidade).

(1) Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada, em dezembro de 1985, ao Instituto de Física e Química de São Carlos - Universidade de São Paulo (IFQSC-USP), 13560, São Carlos, SP. Recebido para publicação em dezembro de 1988 e aprovado em janeiro de 1990.

(2) Química da EMBRAPA/UEPAE de São Carlos. Caixa Postal 339, 13560, São Carlos, SP.

(3) Geoquímico da Universidade Federal de São Carlos, Rod. Washington Luís, km 235, 13560, São Carlos, SP.



Como fonte alternativa de cálcio e enxofre para as culturas, tem sido proposto o emprego do gesso agrícola, proveniente da fabricação de adubos fosfatados (Reeve & Summer, 1972; Malavolta et al., 1981; Rosolem & Machado, 1982; Kiehl & Franco, 1984; Pavan et al., 1984, e Vitti & Malavolta, 1985). Esse produto, quando comparado ao calcário, apresenta maior solubilidade em água, sendo, portanto, capaz de lixiviar o cálcio até maiores profundidades. No entanto, na aplicação do gesso agrícola, alguns autores encontraram uma diminuição nos teores de magnésio e potássio no solo, que são lixiviados, e sugeriram a aplicação conjunta do gesso com o calcário dolomítico (Rosolem & Machado, 1983, e Pavan et al., 1984).

Procurou-se verificar o comportamento do sulfato de cálcio em relação aos constituintes químicos de seis solos sob vegetação de cerrado, característicos do Estado de São Paulo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Selecionaram-se seis tipos de solos de características químicas e físicas distintas entre si, representantes de solos sob vegetação de cerrado do Estado de São Paulo (Quadros 1, 2 e 3).

Quadro 1. Solos utilizados nos experimentos com  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Solo	Classificação
LVd	Latossolo vermelho-amarelo distrófico, textura média - São Carlos, SP.
LEd	Latossolo vermelho-escuro distrófico - Córrego Rico, SP.
LR	Latossolo roxo - Lusitânia, SP.
PVd	Podzólico vermelho-amarelo Tb, distrófico, textura arenosa/média - Monte Alto, SP.
PVe	Podzólico vermelho-amarelo Tb, eutrófico, textura arenosa/média - Ibitirama, SP.
AQd	Areia quartzosa distrófica - São Carlos, SP.

Quadro 2. Análises granulométricas e mineralógicas do horizonte A dos solos

Solo <sup>(1)</sup>	Argila	Silte	Areia	Mineralogia da fração argila <sup>(2)</sup>
LVd	12	03	85	Q > K > G > H
LEd	16	06	78	K > Q > G = H
LR	64	10	26	H > G = Q = K
PVd	16	05	79	Q > K > G
PVe	11	08	81	Q > K > G
AQd	07	01	92	Q > K > H = G

(1) Classificação no quadro 1. (2) Q: quartzo; K: caulinita; G: gibsitita; H: hematita.

Quadro 3. Análises químicas dos solos estudados<sup>(1)</sup>

Solo <sup>(2)</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O.	Ca	Mg	K	H + Al	Al	CTC	V	m
		%		meq/100cm <sup>3</sup>			%			
LVd	3,9	0,9	0,5	0,01	0,01	3,8	0,5	4,3	12	11
LEd	5,4	1,1	3,4	0,10	0,01	2,5	0,2	6,0	58	3
LR	4,7	2,6	2,9	0,70	0,18	5,6	0,2	9,4	40	2
PVd	4,2	1,4	1,4	0,05	0,08	5,5	0,4	7,0	21	6
PVe	5,0	0,7	3,7	0,06	0,04	2,3	0,2	6,1	62	3
AQd	4,1	0,5	0,8	0,02	0,02	2,7	0,3	3,5	24	9

(1) Extrator utilizado: KCl 1N, segundo método descrito no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, SNLCS, 1981).

(2) Classificação no quadro 1.

A análise granulométrica do horizonte A dos solos foi feita pelo método do densímetro (Stancati et al., 1981) e, a caracterização mineralógica, através de difração de raios X. As análises químicas seguiram o manual de métodos de análise do solo (EMBRAPA, 1981), a partir de solo seco ao ar passado em peneira de 2mm. O teor de cloreto foi determinado segundo método de Schuezler & Zuppi (s.d.), através de complexação com  $\text{Hg}(\text{SCN})_2$  e  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_3(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  em meio ácido; o de sulfato, de acordo com Chesnin & Yien (1950), e o de bicarbonato, por titulação com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0127 N e alaranjado-de-metila 0,1% como indicador. O teor de alumínio foi determinado pelo método da cianina eriocromo R, conforme descrito por Fries (1971).

Em tubos de centrifuga de 100cm<sup>3</sup> de capacidade, tomaram-se 10g de cada solo, deixando-os em contato com 50cm<sup>3</sup> de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0,01M (em água), sob agitação constante, por seis dias, tempo previamente determinado como ideal para que ocorresse o máximo de trocas<sup>(4)</sup>. Efetuaram-se três repetições para cada solo e para a prova em branco, determinando-se o peso de cada tubo (solo + tubo) e centrifugando a 3.000 rpm. O sobrenadante foi coletado para análise dos elementos solúveis (Ca, Mg, K, Al,  $\text{SO}_4$ , Na, Cl e Fe) e utilizado para especiação (Wigley, 1977). Após a retirada do sobrenadante, adicionaram-se 50cm<sup>3</sup> de KCl 1N, agitando por trinta minutos e determinando o pH da suspensão. Os tubos foram então centrifugados (3.000 rpm) e, no sobrenadante, determinados cálcio, magnésio e alumínio trocáveis na solução.

## Incubação

A partir dos resultados de H + Al, determinou-se a quantidade de  $\text{CaCO}_3$  necessária para neutralizar 0, 50, 100, 150 e 200% da acidez extraível com acetado de amônio 1N pH 7,0 (100% de neutralização = 1 meq de  $\text{CaCO}_3$  = 1 meq (H + Al)/100cm<sup>3</sup> de solo). A umidade foi mantida em 25% do peso do solo, para que ocorressem reações, representando cerca de três vezes a quantidade de água disponível para solos sob vegetação de cerrado (Lopes, 1977), controlada através de pesagens.

(4) M.A.PAVAN. Comunicação pessoal, 1984.



Após noventa dias de incubação, foram analisados os elementos trocáveis (extraídos com KCl 1N) e o pH e repetidos os experimentos com sulfato de cálcio, ou seja, adicionaram-se 50cm<sup>3</sup> de CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O 0,01M, procurando-se observar as interações em solos com pH neutro e baixos teores de alumínio, assim como as interações sulfato-carbonato de cálcio no solo.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nos solos estudados, observam-se teores baixos de Mg e K e, apesar das suas condições de acidez (pH entre 3,9 e 5,4), os valores de Al não são extremamente altos. São considerados, porém, de médio a alto, pois iguais ou maiores que 0,25meq de Al/100cm<sup>3</sup> (Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1978).

**Teores solúveis de elementos dos solos após tratamento com CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O e/ou CaCO<sub>3</sub>**

A partir dos resultados de pH, Ca e Mg obtidos na incubação dos solos, escolheram-se aqueles que seriam ensaiados com sulfato de cálcio, optando-se pelos passíveis de apresentar maior reação ao emprego do gesso. Os solos LEd e PVe foram desprezados, embora tenham sido ensaiados na primeira etapa, por se mostrarem, após os resultados químicos obtidos com a incubação (Quadro 4), dentro das características pretendidas. Utilizaram-se, nessa etapa dos experimentos, os seguintes solos incubados; LVd, 200%; LR, 50%; PVd, 100% e a AQD o equivalente a 150% (porcentagens relativas à neutralização com CaCO<sub>3</sub>, após resultados de H + Al). Após centrifugação dos solos com CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O 0,01M, determinaram-se os teores solúveis dos elementos, que se encontram nos quadros 4 e 5, além dos resultados e análises nos solos LVd, LR, PVd e AQd após incubação com CaCO<sub>3</sub>.

A partir desses resultados, observa-se diminuição significativa (P ≤ 1%) nos valores de pH após os tratamentos com sulfato, exceto nos solos LVd e AQd quando incubados com carbonato, onde ocorreu um aumento significativo. A diminuição no pH deveu-se provavelmente à velocidade relativa da hidrólise do alumínio, que, nesses solos, é maior que a troca de OH<sup>-</sup> pelo sulfato. Nos solos onde ocorreu aumento de pH, a presença de CaCO<sub>3</sub> promoveu o inverso, devido à liberação de OH<sup>-</sup> pelo CaCO<sub>3</sub>. Observa-se também um aumento de Mg, Ca e K solúveis, o que pode ser explicado a partir do deslocamento desses íons dos sítios de troca pelo cálcio proveniente do CaSO<sub>4</sub>. Esses metais solúveis podem formar pares de íons com SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, diminuindo a concentração de formas livres em solução, sugerindo um alto potencial de lixiviação dos elementos Ca, Mg e K no perfil do solo após adição do gesso. O magnésio apresentou um aumento médio de 0,22 meq/100cm<sup>3</sup> de solo nas seis amostras estudadas. Os maiores aumentos ocorreram nos solos que originalmente apresentavam maiores valores de pH. Resultados semelhantes foram obtidos por Reeve & Sumner (1972) e Rosolem & Machado (1983). Com relação ao

**Quadro 4. Valores de pH e teores solúveis de Al, Ca, Mg e K dos solos tratados com CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O 0,01M e com CaCO<sub>3</sub>. Após seis dias de agitação e centrifugação (10g de solo + 50cm<sup>3</sup> de solução). Média de três repetições**

Solo <sup>(1)</sup>	Tratamento				
	pH	Al	Ca	Mg	K
	meq/100cm <sup>3</sup> de solo.				
LVdT	5,20	0,00	0,14	0,00	0,000
LVdA	4,16**	0,12**	7,52**	0,03**	0,001*
LVdincT	7,85	0,03	0,33	0,00	0,000
LVdincA	8,03**	0,02ns	12,57**	0,02*	0,001ns
LEdT	6,65	0,00	0,24	0,02	0,000
LEdA	5,78**	0,00ns	6,42**	0,59**	0,003**
LRT	6,07	0,01	0,24	0,00	0,001
LRA	5,24**	0,00**	3,42**	0,53*	0,07**
LRincT	5,98	0,00	0,29	0,04	0,002
LRincA	5,87**	0,00ns	10,00**	0,39*	0,004**
PVdT	5,77	0,01	0,24	0,00	0,000
PVdA	4,61**	0,03**	5,67**	0,21**	0,004**
PVdincT	8,02	0,00	0,38	0,01	0,001
PVdincA	6,78**	0,00ns	8,50**	0,14**	0,002**
PVeT	5,82	0,00	0,28	0,01	0,003
PVeA	5,04**	0,00ns	6,50**	0,30**	0,010**
AQdT	4,92	0,00	0,24	0,00	0,000
AQdA	4,24**	0,12**	8,67**	0,03**	0,002**
AQdincT	7,58	0,00	0,33	0,00	0,000
AQdincA	7,68**	0,00ns	9,00**	0,03**	0,002*

(1) Classificação no quadro 1. T: testemunha; A: sulfato de cálcio; inc.: solos incubados com CaCO<sub>3</sub>.

\*e \*\*: significativo (solo testemunha e o mesmo solo sob tratamento com CaSO<sub>4</sub>) ao nível de 5 e 1% respectivamente, pelo teste de Tukey; ns: não significativo.

alumínio, nos solos que originalmente tinham maior porcentagem de saturação de Al (LVd, PVd e AQd), ocorreu um aumento significativo ao nível de 1% (Tukey) nas quantidades de Al solúveis. Esses mesmos, quando incubados, assim como LEd e PVe, com menor saturação inicial, apresentaram apenas uma diminuição, porém não significativa, no alumínio. O LR foi o único que revelou redução significativa nos níveis de alumínio. No teor de ferro, houve diminuição significativa (P ≤ 1%) em todos os solos após tratamento com CaSO<sub>4</sub>; no de sódio, aumento (esperado devido à formação do par NaSO<sub>4</sub>) e, no de sulfato, um aumento significativo (P ≤ 1%) em todos os solos.

**Elementos trocáveis dos solos após tratamento com CaSO<sub>4</sub>**

No quadro 6 - teores trocáveis dos elementos, extraídos com KCl 1N - observa-se que os valores de os que não sofreram esse tratamento. Da mesma maneira que ocorreu quando foram analisados os teores totais solúveis, os solos que originalmente tinham menores valores de pH (LVd e AQd), apresentaram



maiores aumentos no pH dos incubados (LVd de 7,75 a 8,13 e AQd de 7,47 a 7,76): isso indica uma possível contribuição do carbonato, pois tais solos apresentam originalmente menores quantidades de Ca e Mg e maiores índices de saturação por alumínio. Tais resultados concordam com os de Pavan (1983): comenta esse autor que em solos ácidos com pouco alumínio, ocorre um aumento no pH, acompanhado por diminuição de Al, Mg e K trocáveis. Com relação ao cálcio, apesar de terem sido obtidos resultados altos pela existência de elementos solúveis, observa-se sensível aumento nos solos LVd (de 0,5 a 1,34 meq  $\text{Ca}^{2+}/100\text{cm}^3$  de solo, 167%) e AQd (de 0,6 a 1,18 meq  $\text{Ca}^{2+}/100\text{cm}^3$  de solo, 48%) (Quadros 3 e 6). Os solos LEd e PVe, que originalmente tinham maiores quantidades de cálcio trocável (3,4 e 3,7 meq  $\text{Ca}^{2+}/100\text{cm}^3$  de solo respectivamente), apresentaram diminuição (para 2,5 meq  $\text{Ca}^{2+}/100\text{cm}^3$  de solo, decréscimos da ordem de 26 e 32%). Os resultados estão de acordo com os obtidos por Kiehl & Franco (1984), que sugerem que esta diminuição pode ter ocorrido devido a reações de insolubilização ou à imobilização microbiológica. Genericamente, observa-se, nos solos incubados, menor perda do Mg trocável, após trata-

mento com  $\text{CaSO}_4$  do que somente o tratamento sobre o solo original, sem carbonato, podendo-se concluir o efeito benéfico da combinação carbonato + sulfato.

O sulfato foi quase totalmente adsorvido (cerca de 94%), observando-se poucas quantidades de  $\text{SO}_4$ , solúvel, considerando-se que foram adicionados cerca de 5 meq de  $\text{SO}_4/100\text{cm}^3$  de solo, ou seja, aproximadamente 480mg de  $\text{SO}_4/100\text{cm}^3$  de solo. Fontes et al. (1982) sugeriram que essa recuperação incompleta se deva aos fenômenos de absorção de  $\text{SO}_4$  pelo solo. A adsorção de sulfatos ocorre principalmente pela presença de óxidos de ferro e alumínio nos solos. O processo é muito dependente do pH e a adsorção é mais alta em valores de pH mais baixos (Raij, 1988).

### Resultados da especiação química

Utilizou-se o programa Watspec (Wigley, 1977), onde, para o detalhamento químico da amostra de água e seu estado termodinâmico, são utilizados métodos iterativos, para conseguir valores mais reais do que aqueles obtidos em laboratório ou no campo. De acordo com os resultados do Quadro 7, observou-se

Quadro 5. Teores solúveis de Na, Cl, Fe e S- $\text{SO}_4$  nos solos tratados com  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0,01M, após seis dias de agitação e centrifugação. Média de três repetições

Solo <sup>(1)</sup>	Tratamento			
	Na	Cl	Fe	S- $\text{SO}_4$
	— $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ —			
LVdT	4,50	2,00	2,00	4,00
LVdA	8,67ns	1,22ns	0,80**	26,13**
LVdincT	3,50	0,87	0,50	4,00
LVdincA	4,83ns	1,33ns	0,63ns	41,20**
LEdT	7,00	3,30	4,60	3,80
LEdA	9,00ns	1,85ns	0,77**	21,20**
LRT	7,01	5,61	10,20	11,20
LRA	10,50ns	5,01ns	1,63**	22,17**
LRincT	4,00	1,25	1,30	5,80
LRincA	6,17ns	2,47ns	0,80ns	35,20**
PVdT	7,50	3,85	3,30	8,40
PVdA	10,00ns	1,45ns	2,20**	30,53**
PVdincT	3,50	1,45	2,00	6,80
PVdincA	6,00ns	2,47ns	0,93**	38,57**
PVeT	2,00	4,25	5,50	6,60
PVeA	6,67ns	4,27ns	1,17**	24,17**
AQdT	4,00	0,85	2,80	3,90
AQdA	7,67ns	1,25ns	1,90**	26,60**
AQdincT	0,09	0,02	2,70	4,80
AQdincA	0,17ns	0,01ns	1,17**	37,13**

(1) Classificação no quadro 1. T: testemunha; A: sulfato de cálcio, inc.: solos incubados com  $\text{CaCO}_3$ .

\* e \*\*: significativo (solo testemunha e o mesmo solo sob tratamento com  $\text{CaSO}_4$ ) ao nível de 5 e 1% respectivamente pelo teste de Tukey; ns: não significativo.

Quadro 6. Valores de Al, Ca e Mg trocáveis (extraídos com KCl 1N) dos solos após tratamento com  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0,01M. Média de três repetições

Solo <sup>(1)</sup>	Tratamento			
	pH KCl 1N	$\text{Al}^{3+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
	— meq/100cm <sup>3</sup> de solo —			
LVdT	5,00	0,00	0,10	0,01
LVdA	4,37**	0,10**	1,34**	0,00ns
LVdincT	7,75	0,01	1,19	0,01
LVdincA	8,13**	0,01ns	2,69**	0,00ns
LEdT	6,28	0,01	0,16	0,03
LEdA	5,72**	0,01ns	2,49**	0,10**
LRT	5,87	0,02	0,14	0,02
LRA	5,17**	0,00**	2,94**	0,16**
LRincT	5,72	0,01	0,31	0,03
LRincA	6,15**	0,00ns	3,34**	0,16**
PVdT	6,17	0,01	0,17	0,01
PVdA	4,77**	0,05**	2,27**	0,02ns
PVdincT	8,18	0,01	1,17	0,03
PVdincA	6,93**	0,00ns	2,72**	0,03ns
PVeT	6,56	0,01	0,11	0,02
PVeA	4,97**	0,01ns	2,52**	0,04**
AQdT	4,35	0,00	0,07	0,01
AQdA	4,35**	0,09**	1,18**	0,00ns
AQdincT	7,47	0,01	0,70	0,01
AQdincA	7,76**	0,00ns	2,29**	0,00ns

(1) Classificação no quadro 1. T: testemunha; A: amostra; inc: solos incubados com  $\text{CaCO}_3$ .

\* e \*\*: significativo (solo testemunha e sob tratamento com  $\text{CaSO}_4$ ) ao nível de 5 e 1% respectivamente pelo teste de Tukey. ns: não significativo.



(1) Classificação no quadro 1. T: testemunha; A: amostra.

que o alumínio nos solos mais ácidos (LVd, PVD e AQd), após tratamento com  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ocorre predominantemente na forma iônica ( $\text{Al}^{3+}$ , acima de 70% do total = 0,079, 0,019 e 0,077 mmol/l respectivamente). Antes do tratamento com  $\text{CaSO}_4$ , cerca de 15% da quantidade total do alumínio do LVd e AQd está na forma  $\text{AlOH}^{2+}$ , o que só pode ocorrer em solos com teores elevados de óxidos de ferro e alumínio, não sendo, porém, forma estável de alumínio, conforme se pode notar após o tratamento com  $\text{CaSO}_4$ . No LR, o (26,31% de  $\text{Al}^{3+}$  em relação ao Al total, 0,001 mmol/L) e 70% sob a forma  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ . O cálcio apresentou-se quase inteiramente (mais de 98%) na forma de  $\text{Ca}^{2+}$ , bem como o magnésio, em todos os solos. Uma característica predominante foi que, a partir da reação do solo com o  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ocorreu o aumento dos metais solúveis (na forma aquosa), que formam pares iônicos com o sulfato ( $\text{CaSO}_4$  e  $\text{MgSO}_4$ ), diminuindo a concentração das formas livres em solução. Pavan et al. (1984) encontraram resultados semelhantes, embora com valores finais de  $\text{CaSO}_4^0$  maiores que os do presente trabalho (de 21 a 34% do Ca total). Os resultados sugerem um pequeno aumento no potencial de lixiviação de Ca e Mg no perfil de solo, bem como uma diminuição em formas tóxicas de Al para as plantas, conforme observado por Pavan et al. (1982).

O tratamento com  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  proporcionou uma diminuição do pH dentro de uma faixa estatisticamente significativa ao nível de 1%. No tratamento com  $\text{CaCO}_3$ , os solos mais ácidos, incubados com carbonato, apresentaram sensível aumento no pH (significativo ao nível de 1%). De maneira geral, observou-se pronta liberação do cálcio pelo sulfato. O cálcio proveniente do sulfato desloca os íons dos sítios trocáveis para a solução, ocasionando aumento nas quantidades de metais solúveis, formando pares de íons com o sulfato e diminuindo a concentração de formas livres na solução. Os teores iniciais de Al eram baixos, porém o latossolo roxo foi o único que mostrou diminuição significativa

( $P < 1\%$ ) nas suas quantidades. Os demais solos, com maiores porcentagens de saturação por alumínio, apresentaram aumento nesses teores. Somente após incubação com  $\text{CaCO}_3$  é que os originalmente mais ácidos revelaram diminuição (porém não-significativa) nos teores de Al.

## CONCLUSÕES

1. A aplicação de sulfato de cálcio na forma de gesso agrícola deve melhorar a fertilidade dos solos, principalmente naqueles com altos teores de alumínio, deficientes em cálcio e em culturas com sistema radicular profundo.

2. O tratamento no qual foi empregada a combinação  $\text{CaCO}_3 + \text{CaSO}_4$  demonstrou provocar menor lixiviação de magnésio e potássio, o que pode diminuir os possíveis desequilíbrios nutricionais quando somente da aplicação do gesso.

## LITERATURA CITADA

- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 3<sup>a</sup>, Aproximação. EPAMIG, Belo Horizonte, 1978.
- CHESNIN, L. & YIEN, C.H. Turbidimetric determination of available sulphates. Proc. Soil Sci. Soc. Am., Madison, 15:143-151, 1950.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, SNLCS, 1981.
- FRIES, J. Análises de trazas: métodos fotométricos comprobados, Barcelona, Merch, 1971. 184p.





FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H. & BORGES, A.C. Nível crítico de enxofre em latossolos e recuperação do sulfato adicionado por diferentes extratores químicos, em casa de vegetação. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 6:226-230, 1982.

KIEHL, J.C. & FRANCO, O. Efeito do gesso industrial em alguns componentes da fertilidade do solo. O Solo, Piracicaba, 76(1):11-16, 1984.

LOPES, A.S. Available water, phosphorus fixation, and zinc levels in Brazilian cerrado soils in relation to their physical, chemical and mineralogical properties. North Carolina State University, Raleigh, NC, 1977. 189p. (Tese de PhD.)

MALAVOLTA, E.; ROMERO, J.P.; LIEM, T.H. & VITTI, G.C. Gesso agrícola: seu uso na adubação e correção do solo. São Paulo, ULTRAFÉRTIL, 1981. 30p.

PAVAN, M.A. Ação dos corretivos e fertilizantes na dinâmica de fons no solo. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO, Londrina, IAPAR, 1983. 16p.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian oxisoil. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 48(1):33-38, 1984.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Toxicity of aluminum to coffee in ultisols and oxisols amended with CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub> and CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 46(6):1201-1207, 1982.

RAIJ, B. van. Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo. São Paulo, Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas (ANDA), 1988. 88p.

REEVE, N.G. & SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal oxisols by leaching of surface applied amendments. Agrochimica, Pretoria, 4:1-6, 1972.

ROSOLEM, C.A. & MACHADO, J.R. Efeitos da calagem e gessagem sobre a produção de algodão e lixiviação de bases em dois latossolos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 9., Curitiba, 1983. Resumos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p.33.

SCHUEZLER, C. & ZUPPI, G.M. Procedures and techniques for chemical analyses of natural waters. Viena, IAEA, s.d. (IAEA boletim técnico, 22)

STANCATI, G.; NOGUEIRA, J.B. & VILLAR, O.M. Ensaio de laboratório em mecânica dos solos. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1981. 208p.

VITTI, G.C. & MALAVOLTA, E. Fosfogesso - uso agrícola. In: MALAVOLTA, E., Coord. Seminário sobre corretivos agrícolas. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.161-201.

WIGLEY, T.M.L. Watspec - a computer program for determining the equilibrium speciation of aqueous solutions. Norwich, British Geomorphological Research Group, 1977. (Boletim técnico, 20)

CONCLUSÕES

1. A aplicação de sulfato de cálcio na forma de gesso agrícola deve melhorar a fertilidade dos solos, principalmente naqueles com altas taxas de alumínio, deficientes em cálcio e em culturas com sistemas radiculares profundos.

2. O tratamento no qual foi empregada a combinação CaCO<sub>3</sub> + CaSO<sub>4</sub> demonstrou provocar menor lixiviação de magnésio e potássio, o que pode diminuir as possíveis desequilíbrios nutricionais quando somados à aplicação do gesso.

LITERATURA CITADA

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de fertilizantes em Minas Gerais. 15. Recomendação: FOSFÓRICO. Belo Horizonte, 1978.

CHESIN, I. & TINK, J.H. Fertilidade do solo. In: Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 1977.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Experimentação e Colocação de Fertilizantes. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 1977.

RIJ, B. van. Análise de solos. Belo Horizonte, 1988.

... para o aumento da disponibilidade de cálcio na forma de sulfato de cálcio (CaSO<sub>4</sub>)... a partir da reação do gesso com o CaCO<sub>3</sub> ocorre o aumento das taxas de cálcio (na forma aguda) que formam parte dos nutrientes (CaSO<sub>4</sub> e MgSO<sub>4</sub>), diminuindo a concentração das formas livres em solução. Pavan et al. (1984) demonstraram resultados semelhantes, embora com valores mais elevados de CaSO<sub>4</sub> maiores que os do presente trabalho (de 21 e 4% do Ca total). Os resultados sugerem um possível aumento no potencial de troca de Ca e Mg no perfil de solo, bem como uma diminuição em formas livres de Al para as plantas...

... O aumento de CaSO<sub>4</sub> proporcionou uma diminuição do pH dentro de uma faixa estreita - neste experimento no nível de 1%. No tratamento com CaCO<sub>3</sub> os solos mais ácidos, lavados com carbonato, apresentaram um aumento no pH (significativo ao nível de 1%). De maneira geral, observou-se pontos de inflexão no pH. O efeito preventivo do gesso sobre os tons dos ácidos trocáveis para o cálcio ocasionou aumento nas quantidades de cátions trocáveis, porém o aumento da concentração de formas livres na solução...

... A análise de Al em solos, porém o latossolo mostrou a tendência de Al em solos que mostram diminuição significativa...