

AVALIAÇÃO DO ENXOFRE DISPONÍVEL PELO MÉTODO DA RESINA TROCADORA DE ÂNIONS⁽¹⁾

A.C. RIBEIRO⁽²⁾, L.J.O. ACCIOLY⁽³⁾, V.H. ALVAREZ V.⁽²⁾, J.M. BRAGA⁽²⁾
& V.M.C. ALVES⁽⁴⁾

RESUMO

Em amostras de catorze solos de cerrado de Minas Gerais, determinaram-se o enxofre disponível pela resina, com agitação de uma hora, e seus níveis críticos para mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden). As equações de regressão estabelecidas entre o S recuperado pela resina e o S adicionado às amostras apresentaram coeficientes de determinação (R) significativos e maiores que 0,90 para todos os solos estudados. A recuperação, pela resina, do S adicionado aos solos variou entre 16% (latossolos) e 48% (areias quartzosas). Equações de regressão entre o S extraído pela resina e a produção de matéria seca, produção relativa e S absorvido, não apresentaram coeficientes de determinação significativos. Esses parâmetros foram, entretanto, explicados, em grande parte, quando ao S extraído pela resina adicionou-se um dos seguintes parâmetros associados à capacidade tampão de sulfato: P remanescente, teor de argila ou equivalente de umidade. Os níveis críticos de S estabelecidos com a resina variaram entre 10,1 e 19,0ppm de S. Entretanto, não foram observadas correlações significativas entre esses níveis críticos e os parâmetros do solo ligados à capacidade tampão de sulfato, indicando que o método testado usando resina apresenta baixa sensibilidade a essa característica do solo.

Termos de indexação: enxofre disponível, resina, nível crítico, capacidade tampão de sulfato, eucalipto, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.

SUMMARY: EVALUATION OF SOIL AVAILABLE SULFUR BY THE ION-EXCHANGE RESIN METHOD

The sulfur (S) critical level and available S by the resin method for the growth of eucalypt seedlings in 14 soil samples of Minas Gerais State (Brazil) were determined. Regression equations of the recovered resin S as function of the added S to the soil samples presented determination coefficient (R) values higher than 0.90 for all soils studied. Sulfur recovered by the resin varied from 16% (Latosols) to 48% (Sandy soils) of the S applied to the soils. There was no significant correlation between the resin S and dry matter yield, relative growth and S uptake. However, the parameters were explained when some soil characteristic associated with the sulfate buffering capacity as remaining S, soil clay content or humidity equivalent, was added to the soil S resin level. The S critical levels found ranged from 10.1ppm to 19.0ppm according to the soil. However, no significant correlation was found between these critical levels and each soil parameter related to the sulfate buffering capacity, indicating that the resin procedure tested had low sensitivity to these soil characteristics.

Index terms: available sulfur, resin, critical levels, sulfate buffering capacity, eucalypt, *Eucalyptus grandis*, W. Hill ex Maiden.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do segundo autor, realizada no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG). Recebido para publicação em novembro de 1990 e aprovado em julho de 1991.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570 Viçosa (MG). Bolsista do CNPq.

⁽³⁾ Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Agricultura Irrigada (CNPAI), EMBRAPA. CEP 64200 Parnaíba (PI).

⁽⁴⁾ Pesquisadora do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), EMBRAPA, Caixa Postal 151, CEP 35700 Sete Lagoas (MG).

INTRODUÇÃO

Vários métodos e extratores têm sido sugeridos para a avaliação da disponibilidade de enxofre no solo. Reisenauer (1975) classifica os extratores mais utilizados em três grupos, de acordo com as formas de enxofre removidas: (1) os que removem o enxofre na forma de sulfato (SO_4^{2-}) prontamente solúvel; (2) os que removem o sulfato solúvel e parte do sulfato adsorvido e (3) os que removem o sulfato prontamente solúvel, o adsorvido e parte do enxofre orgânico.

Entretanto, a simples determinação do teor de enxofre no solo pouco ou nada diz sobre sua disponibilidade para as plantas, uma vez que não dá informações seguras da capacidade tampão de sulfato.

A existência de correlação significativa entre características do solo com medidas da capacidade tampão de sulfato ou com parâmetros que refletem o fator capacidade tem sido demonstrada. Foram observadas correlações da capacidade tampão de sulfato com o teor de argila, equivalente de umidade, fósforo remanescente (Accioly et al., 1985) e da capacidade máxima de adsorção de sulfato com a declividade ΔS recuperado pelo extrator $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2\text{-HOAc}/\Delta S$ adicionado, equivalente de umidade e teor de argila (Fontes, 1979). Novais & Kamprath (1979), trabalhando com fósforo, apontaram a necessidade de conhecer aspectos do solo relativos ao fator capacidade e de conhecer o fósforo pelos extratores químicos, como critério de recomendação de adubação fosfatada, o que permitiria a extrapolação de níveis críticos com algum fundamento teórico. Alvarez V. (1988) encontrou evidências de que se consegue melhor capacidade preditiva da disponibilidade de enxofre em solos quando se determinam níveis críticos variáveis com a capacidade tampão de sulfato.

Como já verificado para o fósforo (Thomas & Peasle, 1973; Novais, 1977) é provável que as variações nos teores de enxofre, por diferentes extratores químicos, decorram de suas composições, que ocasionariam uma extração diferencial das diversas formas de enxofre do solo. Essas diferenças poderiam causar maior ou menor sensibilidade do extrator à capacidade tampão de sulfato, conforme se admite para o fósforo (Bahia Filho, 1982; Muniz, 1983).

Para Cooke & Hislop (1963), uma das maneiras de avaliar parte do fator quantidade de fósforo sem causar alterações nas características químicas do solo é pelo uso de resina trocadora de ânions. Este extrator tem apresentado boas correlações com a absorção de fósforo pelas plantas (Hislop & Cooke, 1968; Elrashidi et al., 1975; Grande et al., 1986). A resina proporciona um dreno para o fósforo, simulando, dessa forma, a remoção pela planta do P da solução e, conseqüentemente, do P lábil (Olsen & Khasawneh, 1980).

Nos estudos de tempo de agitação, tem-se verificado que a quantidade de fósforo liberada aumenta rapidamente nas primeiras horas de contato do solo com a resina, até atingir um valor praticamente constante, após 72 horas de agitação (Elrashidi et al., 1975).

Grande parte dos trabalhos de extração de fósforo por resina tem utilizado tempos de agitação que variam entre 16 e 48 horas (Hislop & Cooke, 1968; Zunino et al., 1972; Rajj & Quaggio, 1983). O tempo de agitação ideal varia tanto com as características do solo e do elemento em estudo quanto com o tipo de planta. É de esperar que, por ser o enxofre fraco ou moderadamente retido pelo solo, se consiga um bom relacionamento entre a absorção de sulfato pelas plantas e as

quantidades desse íon extraídas pela resina com menores tempos de agitação, do que aqueles normalmente utilizados para o fósforo.

Os objetivos deste trabalho foram determinar a disponibilidade de enxofre pela resina e estabelecer os níveis críticos de S, para mudas de eucalipto, em amostras de alguns solos sob cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras da camada superficial (0-20cm) de catorze solos sob vegetação de cerrado de Minas Gerais, com amplas variações nas suas características químicas e físicas (Quadro 1), foram secas ao ar, peneiradas a 2mm e homogeneizadas. De cada amostra, foram retiradas subamostras e avaliados o potencial de sulfato e a capacidade tampão de sulfato (Accioly et al., 1985), a capacidade máxima de adsorção de sulfato (Alvarez V., 1974), os valores das constantes k e $1/n$ a partir da isoterma de Freundlich (Alvarez V. et al., 1983), fósforo remanescente (Gonçalves et al., 1985) e o enxofre remanescente (Alvarez et al., 1983, segundo método proposto por Bardsley & Lancaster, 1960).

Neste trabalho, utilizaram-se resultados obtidos com os mesmos solos por Alvarez V. et al. (1983) referentes ao enxofre extraído com fosfato monocalcico em ácido acético, produção de matéria seca, produção relativa e enxofre absorvido pelo eucalipto. No experimento desses autores, as amostras de solo foram incubadas durante 30 dias com doses de 0, 10, 20, 40, 60 e 100mg de S/dm³ de solo, adicionadas na forma de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Para compensar a variação do Ca assim adicionado, utilizou-se CaCO_3 . Como adubação básica, foram aplicados 250mg de P, 60mg de N, 100mg de K e 37mg de Mg por decímetro cúbico de solo. Em cada saco plástico contendo 650cm³ de solo, cultivou-se uma planta de eucalipto (*Eucalyptus grandis*), a partir de sementes. O conjunto de doze sacos constituiu a unidade experimental. Os tratamentos foram representados por catorze solos e seis doses de S (fatorial 14 x 6). O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições. Com 91 dias de idade, as partes aéreas das plantas foram cortadas rente ao solo, secas, pesadas e moídas. Amostras da matéria seca foram submetidas à digestão nítrico-perclórica e, nos extratos, determinou-se o enxofre total, pelo método turbidimétrico (Hoeft et al., 1973). A produção relativa de matéria seca foi obtida, dividindo-se a produção na dose 0 ppm de S pela produção máxima de matéria seca do eucalipto, verificada para cada solo, e multiplicando-se o resultado por 100. A determinação do enxofre disponível com fosfato monocalcico (500 ppm de P) em ácido acético 2N foi realizada por turbidimetria (Hoeft et al., 1973).

Em continuidade ao trabalho de Alvarez V. et al. (1983), determinou-se o enxofre extraído pelo método da resina, com agitação de uma hora, nas amostras de solo incubadas com doses crescentes de sulfato. Utilizou-se a resina trocadora de ânions do tipo base forte IRA-400 AR. As amostras de 5cm³ de solo foram adicionados 2,5cm³ de resina e 75ml de água destilada, agitando-se por uma hora. Após esse período, a resina foi lavada com água destilada e agitada por mais de uma hora com 25ml de HCl 0,5N. O extrato foi passado por papel de filtro lento (389³, faixa azul). Para a determinação da concentração do enxofre, foram tomadas alíquotas de 12ml

dos extratos, às quais foram adicionados 7,5ml de "reagente de trabalho" (50,00g de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ + 0,50g de goma arábica P.A. + 18ml de solução de NH_4OH a 12% em 500ml de água destilada) e 3,0ml de água destilada. As leituras em absorbância foram realizadas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 420nm.

Os níveis críticos de S no solo foram obtidos com base no teor de S no solo necessário para promover 90% da produção máxima estimada. Esses níveis foram relacionados, por análises de regressão, com características físicas e químicas do solo que se têm mostrado associadas à capacidade tampão de sulfato.

A análise estatística dos dados constou de ajustes de equações de regressão, sendo o critério para a escolha do modelo final a significância, de até 5%, de seus coeficientes,

pelo teste t. As equações foram ajustadas pelas médias das avaliações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações relacionando algumas características físicas e químicas dos solos (Quadro 1) com a capacidade tampão de sulfato (CTS) evidenciaram coeficientes de determinação mais elevados para P remanescente, S remanescente, capacidade máxima de adsorção de sulfato e a constante k da isoterma de Freundlich (Quadro 2).

O teor de matéria orgânica não se correlacionou com a capacidade tampão de sulfato, o que sugere menor participação dessa fração do solo na adsorção de íons SO_4^{2-} . Por outro

Quadro 1. Características químicas e físicas dos solos estudados

Identificação	Procedência	Equiv. umid.	Areia	Silte	Argila	pH ⁽¹⁾	M.O. ⁽²⁾	Cátions trocáveis			
								Al ⁽³⁾	Ca ⁽³⁾	Mg ⁽³⁾	K ⁽⁴⁾
			%				%	meq/100cm ³			ppm
LVm-JP1	João Pinheiro	13,65	64	5	31	4,6	1,70	1,50	0,14	0,17	43
LVm-JP2	João Pinheiro	12,90	68	6	26	4,8	1,79	1,10	0,25	0,00	71
LV-GM	Grão Mongol	17,00	52	6	42	4,4	1,78	1,00	0,04	0,01	21
LV-I	Itamarandiba	24,70	19	18	63	4,2	3,18	0,70	0,16	0,42	17
LV-BD	Bom Despacho	26,83	17	27	56	4,2	0,85	1,10	0,12	0,06	26
LE-B01	Bocaiúva	30,10	11	17	72	4,4	3,10	1,10	0,19	0,13	33
LE-B02	Bocaiúva	29,81	12	11	77	4,0	4,58	2,50	0,06	0,06	22
LE-JP	João Pinheiro	12,38	72	5	23	4,7	1,47	1,10	0,21	0,00	55
LE-GM1	Grão Mogol	19,48	38	9	53	4,8	1,39	0,60	0,58	0,54	12
LE-GM2	Grão Mogol	19,60	45	7	48	4,1	1,55	1,20	0,07	0,16	14
LEm-TM	Três Marias	8,84	82	5	13	5,4	1,16	0,50	0,09	0,04	17
AQ-JP1	João Pinheiro	6,32	86	3	11	4,5	0,69	0,50	0,07	0,04	16
AQ-JP2	João Pinheiro	3,66	95	1	4	4,6	0,38	0,90	0,03	0,14	10
AQ-TM	Três Marias	6,78	87	2	11	5,3	0,85	0,70	0,07	0,05	11

Identificação	Procedência	P ⁽⁴⁾	P(r) ⁽⁵⁾	S(r) ⁽⁶⁾	CMAS ⁽⁷⁾	Energia de absorção ⁽⁸⁾	K Freundlich	1/n Freundlich	I ⁽⁹⁾	CTS ⁽¹⁰⁾	S de reserva
											ppm
LVm-JP1	João Pinheiro	2,3	19,6	17,3	0,071	0,107	0,013	0,454	3,76	28,3	57
LVm-JP2	João Pinheiro	3,1	26,0	18,7	0,029	0,070	0,005	0,373	3,54	13,9	68
LV-GM	Grão Mongol	0,3	9,5	14,2	0,065	0,745	0,027	0,420	3,93	58,2	61
LV-I	Itamarandiba	0,3	7,7	15,0	0,062	0,312	0,016	0,532	3,82	40,5	155
LV-BD	Bom Despacho	0,3	7,9	12,1	0,135	0,584	0,046	0,419	3,83	80,3	48
LE-B01	Bocaiúva	0,9	4,6	13,9	0,080	1,115	0,041	0,395	3,85	70,9	121
LE-B02	Bocaiúva	0,7	4,3	15,2	0,066	0,373	0,018	0,592	3,80	41,6	135
LE-JP	João Pinheiro	2,0	22,2	17,5	0,028	0,167	0,005	0,655	3,76	16,3	55
LE-GM1	Grão Mogol	0,3	7,0	12,7	0,116	0,326	0,034	0,415	3,85	144,0	59
LE-GM2	Grão Mogol	0,3	11,0	14,9	0,057	0,672	0,022	0,461	3,89	47,7	68
LEm-TM	Três Marias	0,7	26,9	18,2	0,029	0,248	0,006	0,504	3,71	27,2	35
AQ-JP1	João Pinheiro	1,2	32,4	18,2	0,014	3,569	0,011	0,151	3,72	10,0	38
AQ-JP2	João Pinheiro	1,8	35,0	19,9	0,012	1,238	0,008	0,124	3,69	7,5	25
AQ-TM	Três Marias	0,4	34,8	18,9	0,006	2,827	0,005	0,404	3,59	9,4	37

lado, menor grau de associação entre a capacidade tampão de sulfato e o teor de argila sugere que a qualidade da argila pode ser tão importante quanto as quantidades presentes nesses solos.

Foram ajustadas equações de regressão para o enxofre recuperado pela resina em função das doses de enxofre adicionadas (Quadro 3). Os menores índices de recuperação encontrados nos latossolos (16 a 27%), comparativamente às areias quartzosas (30 a 48%), podem ser explicados pelos maiores teores de argila e maior presença de óxidos hidratados de ferro e alumínio (Barrow, 1967; Sanders & Tinker, 1975).

Quadro 2. Equações de regressão e coeficientes de determinação para as relações entre a capacidade tampão de sulfato (y), em $\mu\text{g S/g}$ de solo/unidade de potencial, e algumas características do solo (x) associadas a esse parâmetro

Características	Equação	R ²
Matéria orgânica (%)	$y = 32,47 + 6,263x$	0,032ns
Argila (%)	$y = 4,25 + 1,071x$	0,438*
Equivalente de umidade (%)	$y = -0,63 + 2,717x$	0,384*
P remanescente (ppm)	$y = 89,47 - 2,519x$	0,578**
S remanescente (ppm)	$y = 258,64 - 13,259x$	0,767**
CMAS	$y = -2,87 + 838,93x$	0,746**
k Freundlich	$y = 2,32 + 2200,6x$	0,663**
Energia de adsorção	$y = 53,64 - 11,801x$	0,108ns
1/n Freundlich	$y = 23,77 + 45,897x$	0,030ns
Potencial de sulfato	$y = -787,97 + 220,22x$	0,415*
$\Delta\text{S recuperado}/\Delta\text{S aplicado}$ (resina)	$y = 81,59 - 147,65x$	0,102ns
$\Delta\text{S recuperado}/\Delta\text{S aplicado}$ (FM)	$y = 98,56 - 378,79x$	0,465*

ns: Não significativo; * e **: significativos aos níveis de 5 e 1% respectivamente.

Equações ajustadas com 14 pares de dados.

Quadro 3. Equações de regressão e coeficientes de determinação entre as concentrações de S recuperado pela resina (ppm) (y) e as doses de S adicionadas (ppm) às amostras dos solo (x)

Solo	Equação	R ² (1)
LVm-JP1	$y = 6,53 + 0,2439x$	0,992
LVm-JP2	$y = 7,87 + 0,2378x$	0,989
LV-GM	$y = 5,82 + 0,2389x$	0,997
LV-I	$y = 19,62 + 0,2706x$	0,992
LV-BD	$y = 6,99 + 0,1593x$	0,989
LE-B01	$y = 8,95 + 0,1723x$	0,994
LE-B02	$y = 9,93 + 0,1825x$	0,989
LE-JP	$y = 6,70 + 0,2602x$	0,983
LE-GM1	$y = 8,60 + 0,3086x$	0,974
LE-GM2	$y = 9,17 + 0,2370x$	0,993
LEm-TM	$y = 7,87 + 0,2633x$	0,999
AQ-JP1	$y = 7,10 + 0,3003x$	0,994
AQ-JP2	$y = 4,62 + 0,4838x$	0,989
AQ-TM	$y = 7,11 + 0,3348x$	0,992

(1) Todos os coeficientes de determinação foram significativos ao nível de 1%. Equações ajustadas com 6 pares de dados.

Com as quantidades de S absorvidas pelo eucalipto, em cada dose de S adicionada às amostras de solo, foram ajustadas equações de regressão (Quadro 4). Excluindo-se os solos LE-GM2, LEm-TM e AQ-JP2, todos apresentaram coeficientes de determinação significativos. Embora o S extraído pela resina tenha sido capaz de explicar a absorção de S pelo eucalipto em dez dos treze solos que responderam à aplicação desse elemento, quando considerados isoladamente, não foi observada correlação entre o S absorvido pelo eucalipto e o S extraído pela resina para a dose 0 ppm de S, considerando-se em conjunto os treze solos. O mesmo ocorreu quando se usou a produção relativa de matéria seca.

Quadro 4. Equações de regressão e coeficientes de determinação ajustados entre as quantidades de S absorvidas pelo eucalipto (mg/unidade experimental) (y) e as concentrações de S pela resina (ppm) (x)

Solo	Equações	R ²
LVm-JP1	$y = -45,451 + 9,491** x - 0,193** x^2$	0,974**
LVm-JP2	$y = -60,746 + 11,199* x - 0,219* x^2$	0,978*
LV-GM	$y = -16,204 + 4,828* x - 0,112* x^2$	0,914*
LV-BD	$y = -15,120 + 3,615* x - 0,072 x^2$	0,975**
LE-B01	$y = -45,580 + 8,360* x - 0,191 x^2$	0,908*
LE-B02	$y = -56,823 + 8,680* x - 0,177* x^2$	0,959**
LE-JP	$y = -29,572 + 7,500* x - 0,137* x^2$	0,956**
LE-GM1	$y = -10,295 + 2,573** x - 0,037** x^2$	0,984**
LE-GM2	$y = -27,283 + 6,010 x - 0,177 x^2$	0,872ns
LEm-TM	$y = -10,877 + 4,514 x - 0,084 x^2$	0,915ns
AQ-JP1	$y = -1,076 + 3,259 x - 0,049 x^2$	0,917*
AQ-JP2	$y = 3,964 + 1,118 x - 0,014 x^2$	0,886ns
AQ-TM	$y = -24,994 + 6,678** x - 0,173** x^2$	0,995**

ns: não significativo; * e **: significativos aos níveis de 5 e 1% respectivamente.

Equações ajustadas com 6 pares de dados.

Segundo Bray (1947), a concentração disponível de certo elemento no solo é aquela cujas alterações ocasionam variações no crescimento do vegetal, permitindo que se estabeleça correlação entre a quantidade do elemento extraído e o crescimento vegetal. Por esse critério e considerando-se a produção relativa em 0 ppm de S e o S absorvido nessa dose, pode-se concluir que o enxofre extraído pela resina não é uma medida do enxofre disponível para o eucalipto. Entretanto, muitos autores têm explicado a absorção de nutrientes pelas plantas por meio de associação de uma fração do fator quantidade, empiricamente medida por extratores químicos, com a capacidade tampão do elemento (Ozzane & Shaw, 1972; Miranda & Volkweiss, 1981) ou um parâmetro a ela associado (Novais, 1977; Miranda & Volkweiss, 1981; Alvarez V., 1982). Foram, assim, estabelecidas equações de regressão linear múltipla entre a produção de matéria seca, a produção relativa e o S absorvido pelo eucalipto, com o enxofre extraído pela resina ou pelo fosfato monocalcico (500 ppm de P) em ácido acético 2N, juntamente com as estimativas da capacidade tampão de sulfato (CTS) e de outros parâmetros físicos e químicos que estiveram associados à CTS (Quadro 5).

Quadro 5. Equações de regressão e coeficientes de determinação para as relações entre produção de matéria seca (y), produção relativa de matéria seca (y) e enxofre absorvido pelo eucalipto na dose 0 ppm S (y), e o enxofre extraído pelos métodos da resina (RE) e fosfato monocalcico em ácido acético nesta dose (FM)⁽¹⁾, capacidade tampão de sulfato (CTS), P remanescente (PR), equivalente de umidade (EU) e teor da fração argila (AR)

Equação	Equação de regressão	R ²
n°	Matéria seca	
1	y = -0,10 + 1,33 RE	0,137ns
2	y = 5,62 + 0,80* FM	0,348*
3	y = 0,84 + 1,56 RE - 0,065* CTS	0,439ns
4	y = 6,68 + 0,70 FM - 0,11 CTS	0,351ns
5	y = -13,33 + 2,32* RE + 0,293** PR	0,628**
6	y = 5,22 + 1,67 FM - 0,240 PR	0,379ns
7	y = -5,74 + 2,95** RE - 0,45** EU	0,690**
8	y = -10,76 + 2,11* FM + 0,53 EU	0,462*
9	y = -7,48 + 3,04** RE - 0,17** AR	0,730**
10	y = -19,18 + 3,00* FM + 0,32 AR	0,538*
	Produção relativa de matéria seca	
1	y = 40,23 + 1,83 RE	0,23ns
2	y = 37,67 + 2,82* FM	0,372*
3	y = 42,24 + 2,24 RE - 0,122 CTS	0,112ns
4	y = 16,78 + 4,76* FM - 0,213 CTS	0,472*
5	y = -5,93 + 5,24 RE + 1,03** PR	0,539*
6	y = 38,61 + 0,90 FM + 0,58 PR	0,384ns
7	y = 20,77 + 7,46* RE - 1,58** EU	0,608*
8	y = 41,06 + 2,55 FM - 0,109 EU	0,368ns
9	y = 16,17 + 7,45* RE - 0,57** AR	0,578*
10	y = 15,49 + 4,79 FM + 0,29 AR	0,384ns
	S absorvido	
1	y = -2,79 + 1,871 RE	0,250ns
2	y = 7,30 + 0,782 FM	0,303ns
3	y = -1,83 + 2,14* RE - 0,070* CTS	0,578*
4	y = 9,59 + 0,57 FM - 0,023 CTS	0,318ns
5	y = -17,38 + 2,96** RE + 0,322** PR	0,798**
6	y = 7,08 + 1,22 FM - 0,132 PR	0,313ns
7	y = -8,83 + 3,59** RE - 0,474** EU	0,828**
8	y = -12,84 + 2,39* FM + 0,651 EU	0,462*
9	y = -10,74 + 3,71** RE - 0,18** AR	0,877**
10	y = -21,79 + 3,36* FM - 0,375* AR	0,548*

⁽¹⁾ Dados extraídos de Alvarez V. et al. (1983).

ns: não significativo; * e **: significativos aos níveis de 5 e 1% respectivamente.

Equações ajustadas com 14 pares de dados.

Para a produção de matéria seca, observa-se que apenas o coeficiente de determinação estabelecido quando a variável independente foi o S extraído pelo fosfato monocalcico foi significativo. Entretanto, quando a capacidade tampão de sulfato ou uma das medidas associadas a essa características foi incorporada ao S extraído pela resina, os coeficientes de determinação foram maiores, o que ocorreu, principalmente, para o P remanescente, equivalente de umidade e teor de argila. Embora tenha havido baixo grau de associação entre

o teor de argila e a capacidade tampão do sulfato (Quadro 2), o S extraído pela resina, quando associado ao teor de argila, explicou 73% da produção de matéria seca do eucalipto. O mesmo não se observou para o S extraído pelo fosfato monocalcico. Aparentemente, o extrator fosfato monocalcico foi sensível à capacidade tampão de sulfato, uma vez que a inclusão desse parâmetro e dos outros a ele associados no modelo matemático não provocou alterações marcantes nos coeficientes de determinação.

Quando a variável dependente foi a produção relativa de matéria seca, o coeficiente de determinação simples também foi significativo apenas para o enxofre extraído pelo fosfato monocalcico (Quadro 5). Como no caso da produção de matéria seca, a produção relativa foi mais bem explicada quando, com o S extraído pela resina, foi considerado um parâmetro associado à CTS. Os coeficientes de determinação da regressão múltipla para o rendimento relativo foram, entretanto, menores que os obtidos para a produção de matéria seca e para o enxofre absorvido pelo eucalipto (Quadro 5).

Os coeficientes de determinação de regressão múltipla mais elevados foram obtidos quando a variável dependente foi o S absorvido pelo eucalipto. Nesse caso, o S extraído pela resina, quando associado ao teor de argila, explicou 88% do enxofre absorvido pelo eucalipto. Coeficientes de determinação menores, porém expressivos e significativos, foram obtidos quando se associou, ao S extraído pela resina, o fósforo remanescente, o equivalente de umidade ou a própria capacidade tampão de sulfato. O enxofre extraído pelo fosfato monocalcico, isoladamente, não explicou o S absorvido pelo eucalipto. Além disso, a adição da CTS, ou de um parâmetro a ela associado, ao S extraído pelo fosfato monocalcico, não provocou alterações apreciáveis na capacidade preditiva do modelo (Quadro 5). Tal fato pode estar ligado à remoção de parte do enxofre de reserva, que não é prontamente disponível para o eucalipto, pelo extrator fosfato monocalcico em ácido acético.

Todas as equações de regressão ajustadas com o enxofre extraído pela resina revelaram coeficiente da regressão negativo para a CTS, apresentando-se, também, negativos, os coeficientes da regressão das características positivamente correlacionadas com a CTS (Quadro 5). Esses resultados confirmam as proposições de Holford & Mattingly (1975), trabalhando com fósforo. Considerando-se como válidas para o S as conclusões obtidas para o fósforo por esses autores, pode-se dizer que, em dois ou mais solos com iguais quantidades de S, a absorção desse elemento seria inversamente proporcional à capacidade tampão de sulfato, uma vez que quanto maior fosse o fator capacidade, menor seria a concentração de S em solução (maior o potencial de sulfato).

Os resultados alcançados evidenciam a necessidade de se associar ao S extraído pela resina um parâmetro relacionado à capacidade tampão de sulfato, para explicar a disponibilidade desse elemento para o eucalipto. Sugere-se o P remanescente pela facilidade de sua obtenção e pelos bons resultados obtidos com a sua inclusão, juntamente com o S extraído pela resina, nos modelos que prevêem a produção de matéria seca e o S absorvido pelo eucalipto.

Os níveis críticos de S para o eucalipto pelo extrator fosfato monocalcico e pela resina foram variáveis entre as amostras de solos e entre os extratores (Quadro 6). De modo geral, os estabelecidos com a resina foram mais elevados. Os valores de níveis críticos variaram entre 1,8 e 14,9 ppm para

Quadro 6. Níveis críticos de S (ppm) nas amostras dos solos, pelo fosfato monocálcico em ácido acético⁽¹⁾ e pela resina, para obtenção de 90% da produção máxima estimada e os respectivos coeficientes de variação dos níveis críticos para cada extrator

Solo	Extrator	
	Fosfato monocálcico ⁽¹⁾	Resina
LVm-JP1	8,9	11,4
LVm-JP2	12,3	13,9
LV-GM	5,5	10,1
LV-BD	7,0	15,6
LE-B01	2,3	13,3
LE-B02	1,8	12,0
LE-JP	10,5	11,6
LE-GM1	5,3	19,0
LE-GM2	8,4	15,2
LEm-TM	10,5	10,2
AQ-JP1	14,9	16,3
AQ-JP2	13,1	10,3
AQ-TM	12,4	11,0
CV (%)	47,5	21,2

⁽¹⁾ Dados extraídos de Alvarez V. et al. (1983).

o fosfato monocálcico e entre 10,1 e 19,0 ppm para a resina. Essas variações mostram a influência de características dos solos que refletem a CTS, o que vem sendo verificado por vários autores trabalhando com fósforo (Alvarez V., 1982; Bahia Filho, 1982; Muniz, 1983). Analisando-se os valores dos coeficientes de variação dos níveis críticos para o fosfato monocálcico e para a resina, fica evidente a maior sensibilidade do primeiro à capacidade tampão de sulfato.

Foram ajustadas equações de regressão entre os valores de níveis críticos pelos extratores fosfato monocálcico e resina com características do solo que apresentaram correlação significativa com a capacidade tampão de sulfato (Quadro 7). Verifica-se que nenhum dos parâmetros utilizados se correlacionou significativamente com os níveis críticos de S estabelecidos pela resina nos solos estudados. Por outro lado, essas características se correlacionaram, significativamente, com os níveis críticos obtidos para os mesmos solos por Alvarez V. et al. (1983), com o extrator fosfato monocálcico em ácido acético. Características como teor de argila, equivalente de umidade e P remanescente permitiram explicar mais de 80% da variação dos níveis críticos obtidos com o fosfato monocálcico (Quadro 7).

A não-obtenção de significância para os coeficientes de determinação das equações de regressão, ajustadas entre os níveis críticos de S pela resina e características do solo associadas à capacidade tampão de sulfato, revela que no método testado a resina apresentou baixa sensibilidade a essa característica do solo.

Esses resultados evidenciam a necessidade de se incorporar ao S extraído pela resina uma característica associada à capacidade tampão de sulfato, para explicar as quantidades do elemento absorvidas pelo eucalipto. Para o fósforo, entretanto, alguns autores, como Gunary & Sutton (1967) e Bache & Rogers (1970), verificaram que a quantidade desse elemento extraído pela resina é a variável que, isoladamente, melhor se correlaciona com o fósforo absorvido pelas plantas. Tais

Quadro 7. Equações de regressão entre os níveis críticos de S (ppm), pelo fosfato monocálcico em ácido acético (FM)⁽¹⁾ e pela resina (y) e características físicas e químicas das amostras dos solos (x)

Característica	Extrator	Equação de regressão	R ²
Argila (%)	FM	$y = 14,47 - 0,161x$	0,882**
	Resina	$y = 10,55 + 0,108x$	0,165ns
Equivalente de umidade (%)	FM	$y = 15,44 - 0,424x$	0,828**
	Resina	$y = 10,04 - 0,282x$	0,140ns
S remanescente (ppm)	FM	$y = -12,14 + 1,279x$	0,634**
	Resina	$y = 31,88 - 1,053x$	0,130ns
P remanescente (ppm)	FM	$y = 2,57 + 0,329x$	0,870**
	Resina	$y = 18,34 + 0,208x$	0,140ns
CMAS ⁽²⁾ (mg S/g solo)	FM	$y = 12,70 - 73,936x$	0,514*
	Resina	$y = 11,41 - 63,106x$	0,096ns
ΔS recuperado/ΔS aplicado	FM	$y = 0,47 + 55,710x$	0,891**
	Resina	$y = 14,93 - 7,139x$	0,046ns

⁽¹⁾ Dados obtidos de Alvarez V. et al. (1983).

⁽²⁾ Capacidade máxima de adsorção de sulfato.

ns: não significativo; * e ** significativos aos níveis de 5 e 1% respectivamente. Equações ajustadas com 14 pares de dados.

resultados são particularmente verdadeiros quando são considerados tempos de agitação relativamente grandes como os usados por Hislop & Cooke (1968). Embora as forças que retêm o íon sulfato no solo sejam de magnitude menor do que aquelas que atuam sobre os fosfatos, é razoável pensar que provavelmente o tempo de agitação de uma hora, utilizado neste trabalho, tenha subestimado a fração do fator quantidade de enxofre capaz de ser extraída pela resina.

CONCLUSÕES

1. A recuperação, pela resina, do enxofre adicionado aos solos estudados variou entre 16% (latossolos) e 48% (areias quartzosas).
2. O método da resina com agitação de uma hora para determinação de enxofre disponível para mudas de eucalipto apresentou baixa sensibilidade à capacidade tampão de sulfato.
3. Os níveis críticos estabelecidos com a resina variaram entre 10,1 e 19,0 ppm de enxofre.
4. Nenhum dos parâmetros do solo ligados à capacidade tampão de sulfato se correlacionou com os níveis críticos de enxofre estabelecidos com a resina.
5. Há necessidade de se associar ao enxofre extraído pela resina um parâmetro relacionado à capacidade tampão de sulfato, como P remanescente, teor de argila ou equivalente de umidade, para explicar a disponibilidade desse elemento para o eucalipto (*E. grandis*).

LITERATURA CITADA

- ACCIOLY, L.J.O.; DAL BÓ, M.A.; ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Método para a determinação do potencial de sulfato em solos. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 9:103-106, 1985.
- ALVAREZ V., V.H. Efecto de los factores cantidad, intensidad y capacidad amortiguadora de fosfato en la evaluación del fósforo disponible, de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca, Edo. Michoacán. Chapingo, Colégio de Post-graduados, 1982. 300p. (Tese de Doutorado)

- ALVAREZ V., V.H. Enxofre: critérios de diagnose para solo e planta: correção de deficiências e excessos. In: Borkert, C.M. & Lantmann A.F., eds. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina, EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. p.31-59.
- ALVAREZ, V., V.H. Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre, em dois latossolos de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1974. 125p. (Tese de Mestrado)
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N. F. Níveis críticos de enxofre em solos de cerrado para crescimento de mudas de eucalipto. In: Nutrição e dinâmica de elementos minerais em plantios de eucalipto no Estado de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1983. n.p. (Relatório IBDF/UFV/SIF)
- BACHE, B.W. & ROGERS, N.E. Soil phosphate values in relation to phosphate supply to plants from some Nigerian soils. J. Agric. Sci., Cambridge, 74:383-390, 1970.
- BAHIA FILHO, A.F.C. Índices de disponibilidade de fósforo em latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 178p. (Tese de Doutorado)
- BARDSLEY, C.E. & LANCASTER, J.D. Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. Proc. Soil Sci. Soc. Am., Madison, 24:265-268, 1960.
- BARROW, N.J. Studies on the adsorption of sulfate by soils. Soil Sci., Baltimore, 104:342-349, 1967.
- BRAY, R.H. Correlation of soil test with crop response to added fertilizers and with fertilizer requirements. In: KITCHEN, H.B., ed. Diagnostic techniques for soils and crops. Washington, The American Potash Institute, 1947. p.53-85.
- COOKE, I.J. & HISLOP, J. Use of an anion exchange resin for the assessment of available soil phosphate. Soil Sci., Baltimore, 96:308-312, 1963.
- ELRASHIDI, M.A.; VAN DIEST, A. & EL-DAMATY, A.H. Phosphorus determination in highly calcareous soils by the use of an anion exchange resin. Pl. Soil, The Hague, 42:273-286, 1975.
- FONTES, M.P.F. Disponibilidade do enxofre em diferentes extratores químicos em alguns latossolos do Estado de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1979. 63p. (Tese de Mestrado)
- GONÇALVES, J.L.M.; FIRME, D.J.; NOVAIS, R.F. & RIBEIRO, A.C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 9:107-111, 1985.
- GRANDE, M.A.; CURI, N. & QUAGGIO, J.A. Disponibilidade de fósforo pelos extratores Mehlich e resina, em solos cultivados com arroz irrigado. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 10:45-50, 1986.
- GUNARY, D. & SUTTON, G.D. Soil factors affecting plant uptake of phosphate. J. Soil Sci., London, 18:167-173, 1967.
- HISLOP, J. & COOKE, I.J. Anion exchange resin as a means of assessing soil phosphate status: a laboratory technique. Soil Sci., Baltimore, 105:8-11, 1968.
- HOEFT, R.G.; WALSH, L.M. & KEENEY, D.R. Evaluation of various extractants for available soil sulfur. Proc. Soil Sci. Soc. Am., Madison, 37:401-404, 1973.
- HOLFORD, I.C.R. & MATTINGLY, G.E.G. A model for the behaviour of labile phosphate in soil. Pl. Soil, The Hague, 44:219-229, 1975.
- MIRANDA, L.N. & VOLKWEISS, S.J. Relações entre a resposta da soja à adubação fosfatada e alguns parâmetros do solo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 5:58-63, 1981.
- MUNIZ, A.S. Disponibilidade de fósforo avaliada por extratores químicos e pelo crescimento de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1983. 79p. (Tese de Mestrado)
- NOVAIS, R.F. Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soils. Raleigh, North Carolina State University, 1977. 153p. (Tese de Doutorado)
- NOVAIS, R.F. & KAMPRATH, E.J. Fósforo recuperado em três extratores químicos como função do fósforo aplicado no solo e do "fator capacidade". R. bras. Ci. Solo, Campinas, 3:41-46, 1979.
- OLSEN, S.R. & KHASAWNEH, F.E. Use and limitation of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.J., eds. The role of phosphorus in agriculture. Madison, ASA-CSSA-SSSA, 1980. p.361-410.
- OZZANE, R.G. & SHAW, T.C. Advantage of the recently developed phosphate sorption test over the older extraction methods for soil phosphate. In: INTERNATIONAL SOIL SCIENCE CONGRESS, 8., Madison, 1968. Transactions. Madison, International Soil Science Society, 1972. v.2, p.273-280.
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análises de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo, 1983. 31p. (Boletim técnico, 81)
- REISENAUER, H.M. Soil assays for the recognition of sulphur deficiency. In: McLACHLAN, K.D., ed. Sulphur in Australian agriculture. Sidney, University Press, 1975. p.182-187.
- SANDERS, F.E. & TINKER, P.B.H. Adsorption of local sulphate by a sandy loam soil (Calcic Cambisol). Geoderma, Amsterdam, 13:317-324, 1975.
- THOMAS, G.W. & PEASLE, D.E. Testing soils for phosphorus. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D., eds. Soil testing and plant analysis. Madison, Soil Science Society of America, 1973. p.115-129.
- ZUNINO, H.M.; AQUILERA, M. & PEIRANO, P. A modified resin exchange method for measurement of available phosphate in soils derived from volcanic ash. Soil Sci., Baltimore, 114:404-405, 1972.