

ENXOFRE DISPONÍVEL PARA A SOJA E ATIVIDADE DE ARILSULFATASE EM SOLO TRATADO COM GESSO AGRÍCOLA⁽¹⁾

M. A. NOGUEIRA⁽²⁾ & W. J. MELO⁽³⁾

RESUMO

O constante uso de fertilizantes que não contêm S, aliado ao baixo teor de matéria orgânica de alguns solos, pode resultar em limitação desse nutriente para as culturas. Graças à alta mobilidade do íon sulfato no perfil da maioria dos solos, é importante conhecer o efeito residual da aplicação do gesso agrícola feita com a finalidade de fornecimento de S, visando estimar sua frequência de realização. Em dois anos agrícolas, foram efetuados experimentos em campo para avaliar o efeito da aplicação de gesso agrícola nos teores de S-sulfato, S-reserva e atividade da arilsulfatase de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com soja, bem como nos teores de macronutrientes nas folhas e na produtividade de grãos da cultura. Os tratamentos consistiram na aplicação de: 0, 67, 133, 267, 533 e 1.067 kg ha⁻¹ de gesso agrícola, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Realizaram-se amostragens de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm a cada 21 dias durante o ciclo da cultura, totalizando seis por ano. A primeira amostragem de cada ano foi feita antes da aplicação do gesso. No segundo ano, a distribuição dos tratamentos foi feita sobre as mesmas parcelas do ano anterior. O gesso agrícola aumentou os teores de S-sulfato no solo nas épocas próximas à aplicação, os quais diminuíram com o tempo, em decorrência da precipitação pluvial. No primeiro ano, o S-sulfato foi lixiviado para além da profundidade de 20-40 cm, sem efeito residual de um ano para o outro. A atividade da arilsulfatase foi maior a 0-20 cm, de forma semelhante ao observado para o S-reserva, havendo correlação positiva entre essas variáveis. A aplicação de gesso agrícola não influenciou a produção de grãos e, à exceção do teor de S no segundo ano, não alterou os teores de macronutrientes nas folhas de soja.

Termos de indexação: enzima do solo, lixiviação, nutrição de plantas, efeito residual, enxofre de reserva, sulfato.

⁽¹⁾ Trabalho apresentado pelo primeiro autor à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista – FCAV/UNESP/Jaboticabal, para graduação em Agronomia. Apresentado na XXI Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Petrolina (PE), 1994. Recebido para publicação em janeiro de 2001 e aprovado em abril de 2003.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Departamento de Microbiologia da Universidade Estadual de Londrina – UEL. Caixa Postal 6001, CEP 86061-990 Londrina (PR). E-mail: nogueira@uel.br

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Tecnologia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista – FCAV/UNESP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane Km 5, CEP 14884-900 Jaboticabal (SP). E-mail: wjmelo@fcav.unesp.br

SUMMARY: *SULPHUR AVAILABILITY TO SOYBEAN AND ARILSULPHATASE ACTIVITY IN A SOIL TREATED WITH PHOSPHOGYPSUM*

The constant use of fertilizers that does not contain sulfur, in addition to low organic matter content of some soils, may result in sulfur limitation to crops. Due to the high mobility of the sulfate ion in many soils, it is important to know the residual effect of the phosphogypsum when added to the soil as S source, in order to estimate its application frequency. Experiments were performed under field conditions, in two years, in order to evaluate the effect of phosphogypsum on the sulfate-S and reserve-S contents and on the arylsulphatase activity in a Typic Haplorthox, cropped with soybean; the macronutrients concentration in the leaves and the grain yield were also evaluated. The treatments were 0, 67, 133, 267, 533 and 1,067 kg ha⁻¹ of phosphogypsum in a completely randomized design with 4 replications. Soil samples were taken from the 0-20 and 20-40 cm depth every 21 days, amounting 6 per year. The first sampling in each year was done before the phosphogypsum distribution. In the second year, the treatments were distributed on the same plots of the prior experiment. Phosphogypsum increased sulfate-S tenors in the soil after its application, which decreased with the sampling time, due to the rain. Sulfate-S from phosphogypsum was quickly leached beyond the 20-40 cm depth in the first year, showing no residual effect. The arylsulphatase activity was greater at 0-20 cm, likewise to the reserve-S. There was a positive correlation between these variables. Phosphogypsum did not affect grain yield, and, except for S in the second crop, did not affect the content of macronutrients in the soybean leaves.

Index terms: soil enzyme, leaching, plant nutrition, residual effect, reserve-S, sulfate-S.

INTRODUÇÃO

Cerca de 95 % do S do solo encontra-se na forma orgânica, que constitui importante reserva desse nutriente (Tabatabai & Bremner, 1972), especialmente nos solos com alto grau de intemperização. A forma preferencialmente absorvida pelas plantas é o íon sulfato, que entra em contato com as raízes principalmente por fluxo de massa. Seu teor no solo é influenciado pela precipitação pluvial, temperatura, adubação, manejo dos restos culturais e fertilizantes utilizados.

Em geral, solos há muitos anos sob exploração, com uso de formulações de fertilizantes desprovidos de S, podem apresentar baixa disponibilidade desse nutriente. Isso pode resultar em sintomas de deficiência nas culturas, acarretando queda de produtividade, principalmente em solos pobres nesse nutriente e com baixos teores de matéria orgânica. Nesse cenário, a soja é a maior exportadora de S da agricultura brasileira, com 77,3 mil toneladas por ano (Yamada & Lopes, 1998). Nessas condições, o uso de gesso agrícola pode aumentar a produtividade de culturas como a soja, pelo fornecimento de S (Mascarenhas et al., 1986).

Anghinoni et al. (1976) verificaram que a aplicação de até 80 kg ha⁻¹ de S não alterou a produção de soja e não causou aumento no teor foliar de S. Vitti & Malavolta (1985) notaram efeitos positivos da utilização de 15 a 50 kg ha⁻¹ de S na

forma de gesso agrícola em várias culturas. A maior dose foi usada em solos arenosos, em geral pobres em matéria orgânica.

O S orgânico pode se tornar disponível às plantas pela mineralização da matéria orgânica (David et al., 1982). A arilsulfatase é uma enzima que participa do ciclo do S no solo, ao hidrolisar ligações do tipo éster de sulfato, o que libera íons sulfato (Tabatabai & Bremner, 1970). Sua origem pode ser microbiana ou vegetal (Ganeshamurthy & Nielsen, 1990). A atividade da arilsulfatase no solo decresce com a profundidade e com a diminuição do teor de matéria orgânica (Baligar et al., 1988), por constituir a principal reserva de ésteres de sulfato, que são substratos da enzima. Entretanto, Speir (1984) não observou correlação entre C-orgânico e atividade de arilsulfatase e concluiu que cada solo tem sua característica típica de atividade enzimática, que pode ser influenciada por fatores, tais como: grau de evolução da matéria orgânica ou tipo de vegetação que lhe deu origem.

O gesso agrícola, dependendo da distância do local de produção, é fonte barata de S. Entretanto, a maioria dos trabalhos sobre seu uso visa à melhoria do ambiente radicular de subsuperfície, nos quais são geralmente empregadas doses mais elevadas que aquelas que visam ao fornecimento de S e Ca às plantas. Ademais, são poucas as informações sobre seu efeito no S-orgânico do solo e na atividade de enzimas ligadas ao ciclo do S, caso da arilsulfatase.

Essa enzima pode, em alguns casos, sofrer retroinibição pelo íon sulfato e afetar a hidrólise bioquímica do S-orgânico (Ganeshamurthy & Nielsen, 1990).

O objetivo deste trabalho foi avaliar, em condições de campo, o efeito de doses de gesso agrícola sobre os teores de S-sulfato, S-reserva e atividade da arilsulfatase no solo, nos teores foliares dos macronutrientes e produtividade de grãos durante dois ciclos da cultura da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados com soja (*Glycine max* (L.) Merrill, cv IAC-8), nos anos agrícolas de 1992/93 e 1993/94, em um Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 1999) (*Typic Haplorthox*), localizado no município de Jaboticabal (SP). A análise granulométrica de amostra coletada na profundidade de 0-20 cm revelou 630, 60 e 310 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente; a 20-40 cm, os teores foram de 600, 60 e 340 g kg⁻¹, na mesma ordem. O clima da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cwa, mesotérmico ou subtropical úmido, de inverno seco.

Os tratamentos consistiram na aplicação de 0, 67, 133, 267, 533 e 1067 kg ha⁻¹ de gesso agrícola (15 a 18 % de S), visando ao fornecimento de 0, 10, 20, 40, 80 e 160 kg ha⁻¹ de enxofre, considerando-se um teor mínimo de 15 % de S no gesso agrícola. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, num total de 24 parcelas de 6 x 10 m, espaçadas de 2 m entre si. O gesso agrícola foi aplicado em superfície, uniformemente distribuído na área total de cada parcela no dia da semeadura e incorporado por meio de gradagem leve. No segundo ano, o experimento foi repetido, usando-se as mesmas parcelas, que receberam os mesmos tratamentos do ano anterior. Entre um e outro ano agrícola, a área experimental permaneceu em pousio.

Em cada ano, antes da instalação do experimento, a análise química de amostras de terra (Raij & Quaggio, 1983), coletadas na profundidade de 0-20 cm da área, revelou os seguintes resultados: (92/93) matéria orgânica = 20 g kg⁻¹; P (resina) = 23 mg dm⁻³; pH (CaCl₂) = 5,4; K⁺ = 1,5; Ca²⁺ = 30; Mg²⁺ = 11; H + Al = 20 mmol_c dm⁻³; V = 68 %; (93/94) matéria orgânica = 22 g kg⁻¹; P (resina) = 30 mg dm⁻³; pH (CaCl₂) = 5,8; K⁺ = 2,5; Ca²⁺ = 33; Mg²⁺ = 9; H + Al = 18 mmol_c dm⁻³; V = 71 %. Em cada ano, calcário dolomítico foi incorporado, por meio de arado de discos, em dose calculada para elevar a saturação por bases a 80 % (Raij et al., 1985), dois meses antes da semeadura da soja.

A adubação foi de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triplo) e 40 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio), em

92/93, e de 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O, em 93/94 (Raij et al., 1985). A soja foi semeada em espaçamento de 0,6 m entrelinhas e densidade de 400.000 plantas ha⁻¹. As sementes foram inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* comercial antes das semeaduras, realizadas com semeadora-adubadora de tração mecânica em 7/12/1992 e 10/12/1993.

Amostras de terra foram obtidas em cada parcela nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm por meio de amostrador tipo sonda a cada 21 dias, a partir da semeadura, antes da aplicação do gesso agrícola, sendo doze amostras simples obtidas aleatoriamente na área da parcela para formar uma amostra composta. A partir da segunda amostragem, as amostras simples foram retiradas cerca de 10 cm da linha de semeadura. Após secas ao ar e peneiradas (2 mm), foram analisadas quanto ao teor de S-sulfato por turbidimetria, após extração com solução de acetato de amônio 0,5 mol L⁻¹ em ácido acético 0,25 mol L⁻¹ (Vitti, 1989) e o S-total por digestão ácida de 2 g da amostra de terra, seguida por determinação turbidimétrica (Tabatabai, 1982). O teor de S-reserva foi obtido pela diferença entre o S-total e o S-sulfato. A atividade da arilsulfatase (Tabatabai & Bremner, 1970) foi avaliada pela hidrólise do p-nitrofenil sulfato de potássio, substrato da enzima, a p-nitrofenol (PNP), incubando-se a amostra de terra por 1 h a 37 °C.

Em cada ano, uma amostra composta pela terceira folha a partir do ápice da haste principal, de 30 plantas por parcela, incluindo o pecíolo, foi obtida no início da formação das vagens, lavada, seca em estufa (60-65 °C), moída (40 mesh \cong 0,36 mm) e analisada quanto aos teores de N, P, K, S, Mg e Ca (Bataglia et al., 1983).

Os resultados de S-sulfato, S-reserva e atividade da arilsulfatase de cada ano foram submetidos à análise de variância, com aplicação do teste F, como esquema fatorial 6 x 6 x 2, sendo seis doses de gesso agrícola, seis épocas de amostragem e duas profundidades. As interações significativas foram desdobradas com análises de regressão para os fatores doses e épocas de amostragem, enquanto, para o fator profundidade, foi aplicado o teste Tukey a 5 %. Também foram feitas correlações simples entre algumas variáveis.

Os dados de precipitação pluvial durante os experimentos foram obtidos na Estação Agroclimatológica do Departamento de Ciências Exatas da FCAV/Unesp, a qual se situa a cerca de 300 m da área experimental.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

S-sulfato

No primeiro ano (92/93), houve efeito isolado dos fatores sobre os teores de S-sulfato (P < 0,01) e

interação dupla apenas entre os fatores época e profundidade ($P < 0,01$). No segundo ano (93/94), além do efeito isolado dos fatores ($P < 0,01$), todas as interações duplas foram significativas ($P < 0,01$). Para facilitar a apresentação dos resultados e permitir a visualização do comportamento do íon sulfato em cada profundidade ao longo do tempo e de acordo com as doses de gesso, os resultados foram apresentados na forma de superfície de resposta, independentemente das interações entre os fatores (Figura 1).

No primeiro ano, antes da aplicação do gesso, o teor de S-sulfato a 0-20 cm foi de $17,9 \text{ mg kg}^{-1}$, significativamente menor que os $27,8 \text{ mg kg}^{-1}$ encontrados a 20-40 cm. No segundo ano, na primeira amostragem, não houve, nas duas profundidades, efeito significativo das doses de gesso aplicadas no ano anterior, o que mostra que não houve efeito residual. Houve novamente efeito significativo de profundidade, com teores de $12,9$ e $18,9 \text{ mg kg}^{-1}$ para 0-20 e 20-40 cm, respectivamente

(Figura 1). Esses valores estão acima dos limites considerados críticos por Fontes et al. (1982), que são de 6 a 10 mg kg^{-1} .

O predomínio da fração areia no solo do experimento, aliado à realização de calagem antes dos dois cultivos, possivelmente propiciou maior remoção do S-sulfato dos 0-20 cm superficiais. Camargo & Rajj (1989) observaram que a calagem aumentou as cargas negativas do complexo de troca do solo, o que resultou em maior repulsão dos íons sulfato e seu deslocamento no perfil, fato também observado por Quaggio et al. (1993). Isso, possivelmente, ocorreu mais intensamente a 0-20 cm, embora não se tenha avaliado a CTC após a calagem. Além disso, o maior teor de matéria orgânica a 0-20 cm, rica em cargas negativas pH dependentes, contribuiu para a repulsão do íon sulfato. De modo contrário, os menores teores de matéria orgânica a 20-40 cm, aliados aos teores de óxidos de ferro encontrados nos Latossolos (EMBRAPA, 1999), podem resultar em predomínio

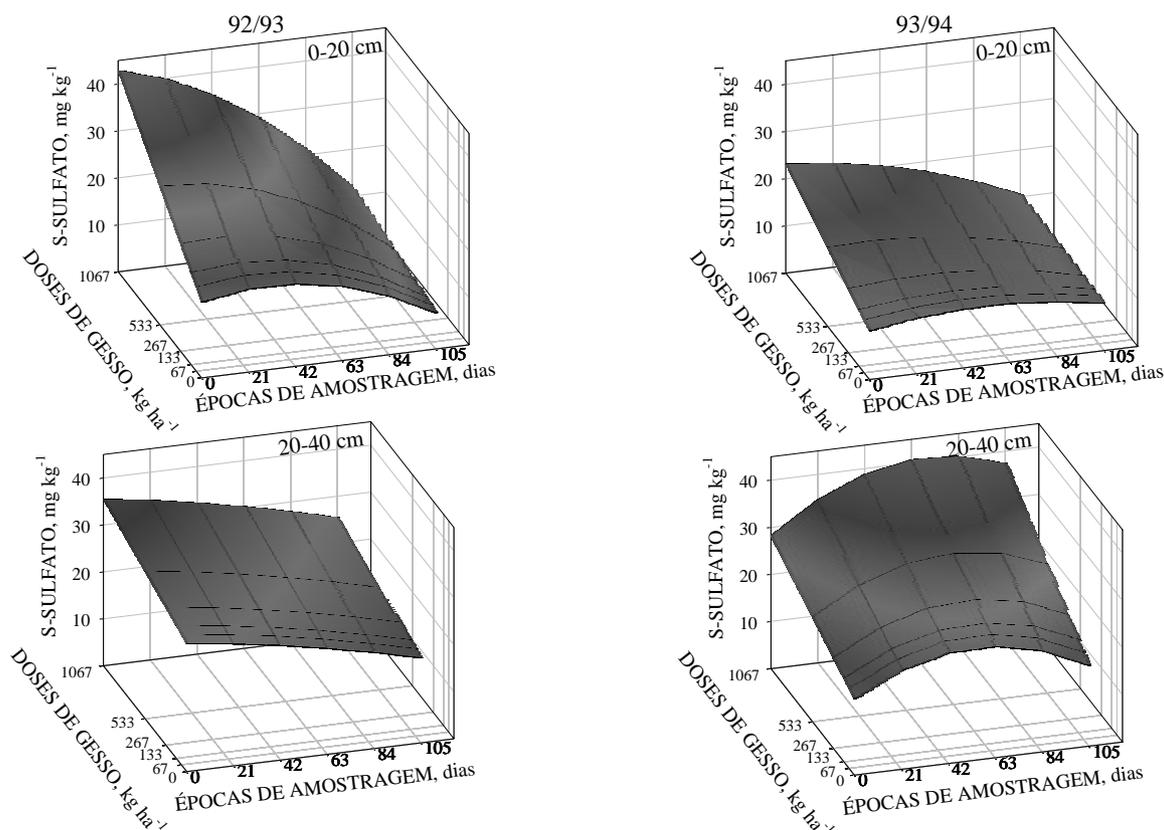


Figura 1. Superfície de resposta, relacionando teores de S-sulfato (y), em função das doses de gesso agrícola (x) e das épocas de amostragem (z) em duas profundidades de um Latossolo Vermelho distrófico típico cultivado com soja nos anos agrícolas de 1992/93 e 1993/94. $\hat{y}_{(92/93; 0-20 \text{ cm})} = 16,27 + 0,105x + 0,025z - 0,0018x^2 - 0,0000019x.z$ ($R^2 = 0,50^*$); $\hat{y}_{(92/93; 20-40 \text{ cm})} = 27,30 - 0,57x + 0,00756z - 0,00031x^2 - 0,000001z^2 - 0,0000083x.z$ ($R^2 = 0,40^*$); $\hat{y}_{(93/94; 0-20 \text{ cm})} = 10,32 + 0,087x + 0,12z - 0,00085x^2 + 0,00000043z^2 - 0,00011x.z$ ($R^2 = 0,47^*$); $\hat{y}_{(93/94; 20-40 \text{ cm})} = 16,13 + 0,28x + 0,011z - 0,0026x^2 + 0,0000029z^2 + 0,000074x.z$ ($R^2 = 0,67^*$). * = equação significativa a 5% pelo teste F.

de cargas positivas e favorecerem a retenção do ânion sulfato a 20-40 cm, conforme os teores encontrados antes da aplicação do gesso.

Os teores máximos de S-sulfato a 0-20 cm nas parcelas que receberam gesso agrícola foram constatados aos 21 dias nos dois anos de cultivo (Figura 1). Esses valores foram mais expressivos nas maiores doses e diminuíram com o tempo, sendo, aos 63 dias, já próximos àqueles encontrados antes da aplicação do gesso e aos do tratamento-controle (dose 0), principalmente no primeiro ano. As variações climáticas do primeiro para o segundo ano agrícola, especialmente o regime pluvial (Figura 2), foram, provavelmente, os principais responsáveis pelas variações nos teores de S-sulfato, considerando-se a mesma dose de gesso agrícola. Em condições controladas, Dias et al. (1994) observaram que o gesso aplicado ao solo foi rapidamente solubilizado e sua remoção foi proporcional à lâmina de água aplicada.

No primeiro ano agrícola, não houve alterações significativas nos teores de S-sulfato, na profundidade de 20-40 cm, aos 21 dias da aplicação do gesso agrícola. No segundo, os aumentos foram observados logo aos 21 dias, principalmente nas maiores doses. A maior rapidez com que o S-sulfato atingiu a profundidade de 20-40 cm no segundo ano pode ser atribuída à maior incidência de chuvas no período que antecedeu à amostragem de 21 dias (152 mm no segundo ano, contra 83 mm no primeiro) (Figura 2), o que possibilitou rápido deslocamento do S-sulfato para 20-40 cm.

Após esse período, houve inversão do regime pluvial. No primeiro ano, foram 550 mm até os 63 dias, contra 385 mm no segundo ano. Até à última amostragem do primeiro ano agrícola, houve acúmulo de 826 mm de chuva, contra 569 mm no segundo ano (Figura 2). Os 257 mm a mais no

primeiro ano foram suficientes para remover o S-sulfato para além dos 20-40 cm, mesmo nas maiores doses de gesso, logo aos 63 dias. No segundo ano, ao contrário, observou-se aumento dos teores de S-sulfato a 20-40 cm, nas maiores doses, resultante da aplicação do gesso, até à última amostragem (Figura 1).

Quaggio et al. (1993) observaram que praticamente todo o S-sulfato foi lixiviado para profundidades maiores que 40-60 cm aos 18 meses da aplicação de gesso agrícola. Melo & Ferreira (1983) citaram que a elevação dos teores de S-sulfato resultante da aplicação de superfosfato simples em Latossolo Roxo perdurou até 106 dias, diminuindo em seguida. Essas observações, corroboradas pelos resultados aqui apresentados, mais uma vez reforçam a rapidez com que o íon sulfato é removido do perfil, e que mais atenção deve ser dada ao enxofre, para que esse não venha a ser limitante às culturas, especialmente em solos com baixos teores de matéria orgânica, sua principal reserva.

S-reserva

Os maiores teores de S-reserva foram observados a 0-20 cm, em todas as épocas de amostragem e doses de gesso agrícola. Esse comportamento era esperado graças ao maior teor de matéria orgânica na camada superficial, a qual contém a maior parte do S-reserva (David et al., 1982). No primeiro ano agrícola, observou-se menor teor de S-reserva a 0-20 cm (142 mg kg^{-1}) em relação ao segundo (187 mg kg^{-1}), na média das doses e épocas de amostragem. Essa variação foi menos expressiva a 20-40 cm, ou seja, 105 mg kg^{-1} no primeiro ano e 112 mg kg^{-1} no segundo. É provável que as formas de S orgânico a 20-40 cm sofram menores alterações por estarem menos sujeitas às variações impostas pelo clima, ocupação e manejo do solo.

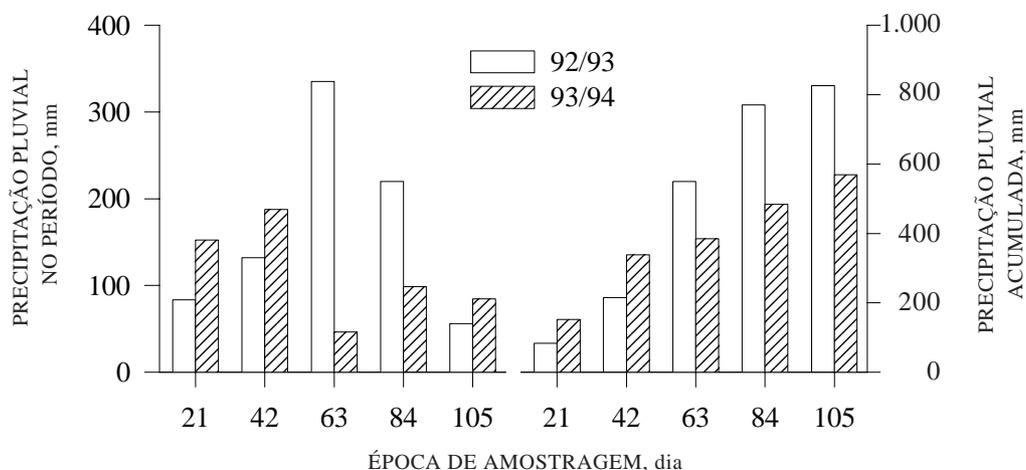


Figura 2. Precipitação pluvial nas proximidades da área experimental durante o período de amostragem nos anos agrícolas de 1992/93 e 1993/94.

No primeiro ano agrícola (92/93), houve interação significativa entre épocas de amostragem e doses de gesso agrícola ($P < 0,05$) e entre profundidades de amostragem e doses ($P < 0,01$). Os ajustes de regressão do fator época de amostragem, em cada nível do fator doses de gesso agrícola, apresentaram modelos significativos apenas para os tratamentos 0, 67 e 133 kg ha⁻¹ (Figura 3), seguindo um modelo quadrático nas doses 0 e 133 mg kg⁻¹. Nas maiores doses, não houve efeito significativo de épocas.

No segundo ano agrícola (93/4), houve novamente interações duplas entre os fatores épocas de amostragem e doses de gesso agrícola ($P < 0,01$) e entre profundidades de amostragem e doses de gesso agrícola ($P < 0,05$). O efeito do fator época em cada nível do fator dose também resultou em ajustes de regressão significativos (Figura 3). Nos tratamentos de 0 e 533 kg ha⁻¹, houve diminuição do S-reserva de acordo com o tempo de amostragem. Nos tratamentos de 67 e 267 kg ha⁻¹, os ajustes foram quadráticos, passando por um ponto de máximo, com posterior diminuição dessa variável até a última amostragem. A diminuição do S-reserva nas últimas avaliações da maioria dos tratamentos pode estar relacionada com o desenvolvimento da cultura da soja. A mineralização do S-orgânico no solo é maior na presença de plantas, as quais estimulam a atividade microbiana pela produção de exsudatos radiculares (Kamprath & Till, 1983).

Chowdhury et al. (2000) também observaram mineralização do S orgânico no período de maior desenvolvimento das plantas. A demanda microbiana por C é a força motriz da mineralização do S (Ghani et al., 1992). Assim, a exsudação pelas raízes de C de fácil degradação estimula a mineralização do S orgânico, o que pode ter resultado na diminuição do S-reserva em alguns tratamentos desse experimento, nas avaliações finais.

Na interação dupla entre doses de gesso e profundidade de amostragem ($P < 0,01$) no primeiro ano, houve efeito das doses de gesso sobre o S-reserva a 0-20 cm, com diminuição até a dose de 533 kg ha⁻¹ e posterior aumento na maior dose, segundo a equação de regressão $\hat{y}_{(92/93; 0-20 \text{ cm})} = 168 - 0,167x + 0,000013x^2$ ($R^2 = 0,66^{**}$). Não houve efeito significativo das doses de gesso a 20-40 cm.

No segundo ano, essa variável foi significativamente influenciada apenas na profundidade de 20-40 cm ($\hat{y}_{(93/94; 20-40 \text{ cm})} = 117 - 0,016x$; $R^2 = 0,75^{**}$). Essa diferença de comportamento pode estar associada à variação dos teores de S-sulfato em cada uma das profundidades de um ano para o outro. No primeiro ano, o S-sulfato permaneceu por mais tempo a 0-20 cm, enquanto, no segundo, foi removido da profundidade de 0-20 cm e acumulou a 20-40 cm (Figura 1), em razão de alternâncias entre os índices pluviométricos no decorrer dos experimentos (Figura 2).

Stanko-Golden & Fitzgerald (1991) observaram relações positivas entre S-sulfato e S-orgânico. Entretanto, essas relações podem variar com a natureza da comunidade microbiana, fontes de C orgânico no solo e com o clima, cuja combinação definirá se o S-orgânico será formado ou mineralizado. Houve comportamento variado entre os dois anos agrícolas, o que indica a dificuldade de se estudar essa variável em condições de campo, em virtude da maior exposição a fatores não-controláveis.

Arilsulfatase

A atividade da arilsulfatase não foi influenciada pelas doses de gesso agrícola no primeiro ano, sendo observados apenas efeitos isolados de profundidade e épocas de amostragem ($P < 0,01$). No segundo ano, além dos efeitos de profundidade ($P < 0,01$) e época de amostragem ($P < 0,01$), houve efeito das doses de gesso ($P < 0,05$), sem interação entre os fatores. Os ajustes de regressão de grau até dois para doses e épocas não foram significativos, o que indica alta complexidade entre os fatores que governam a atividade dessa enzima no solo.

Com relação ao efeito de profundidade, na média das doses e épocas de amostragem, nos dois anos, a atividade foi significativamente maior a 0-20 cm (5,11, em 92/93, e 10,18 µg de PNP g⁻¹ terra h⁻¹, em 93/94) em relação a 20-40 cm (4,09, em 92/93, e 7,49 µg de PNP g⁻¹ terra h⁻¹, em 93/94), comportamento semelhante ao encontrado por Baligar et al. (1988). A maior atividade enzimática no segundo ano coincidiu com o maior teor de S-reserva observado nesse mesmo período. A atividade da arilsulfatase foi inferior à encontrada em vários solos em condições de clima temperado, que variaram de 28 a 425 µg de PNP g⁻¹ terra h⁻¹ na camada superficial, sem relação com o conteúdo de matéria orgânica (Baligar et al., 1988). Nesse caso, os autores sugeriram que a qualidade da matéria orgânica apresentou maiores efeitos sobre a atividade enzimática que a sua quantidade. Por outro lado, Gupta et al. (1993) encontraram correlação positiva entre atividade enzimática e C orgânico e entre atividade enzimática e S total, com atividade variando de 9 a 770 µg de PNP g⁻¹ terra h⁻¹.

Análises de correlação simples entre S-sulfato e atividade enzimática, para cada profundidade de amostragem e ano agrícola, indicaram relação negativa entre as variáveis, porém, embora significativas ($P < 0,05$) para a profundidade 0-20 cm, apresentaram baixos coeficientes de correlação ($r = -0,18$, para o primeiro, e $r = -0,35$, para o segundo ano), o que não permitiu evidenciar claro efeito inibidor do S-sulfato sobre a atividade enzimática. Relatos na literatura sobre o efeito do íon sulfato na atividade da arilsulfatase são contraditórios, variando desde inibição até ligeiro aumento da atividade (Gupta et al., 1993).

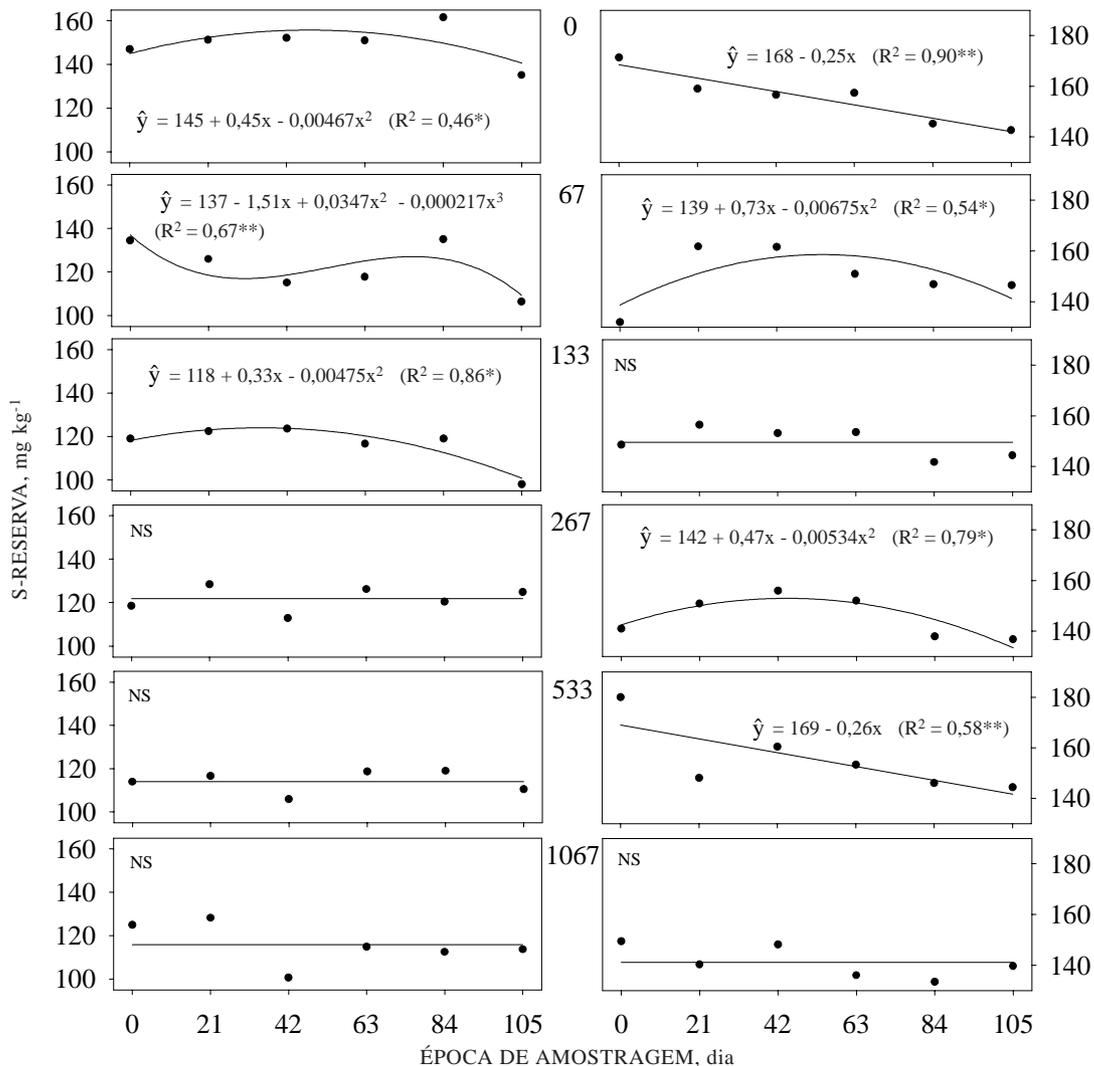


Figura 3. S-reserva, na média das profundidades de amostragem, de acordo com as épocas de amostragem e em cada dose de gesso, em Latossolo Vermelho distrófico típico cultivado com soja nos anos agrícolas de 1992/93 e 1993/94. *, ** e NS = Significativos a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente, e não-significativo.

A atividade da arilsulfatase apresentou correlação positiva e significativa ($P < 0,01$) com o S-reserva ($r = 0,54$; $n = 576$), o que indica que sua atividade aumenta com o aumento do substrato sobre o qual atua (Gupta et al., 1993). Como a maior parte do S do solo se encontra na forma orgânica (Tabatabai & Bremner, 1972; Gupta et al., 1993), o teor de matéria orgânica entre as duas profundidades avaliadas foi, possivelmente, o fator que mais influenciou a atividade da arilsulfatase. Há que se salientar que não é todo o S orgânico que está sujeito à hidrólise pela atividade da arilsulfatase, mas apenas aquele na forma de ésteres de sulfato (Ganeshamurthy & Nielsen, 1990). Assim, apenas alterações nessa forma de S orgânico afetariam a atividade da arilsulfatase.

Teores foliares de macronutrientes e produção de grãos

Os teores foliares de macronutrientes na época do florescimento não foram influenciados pela adição do gesso no primeiro ano, mesmo considerando o S e o Ca. As médias obtidas para os teores foram (g kg^{-1}): N = 34,6; P = 10,1; K = 24,5; Ca = 9,5; Mg = 3,9; S = 1,8. No segundo ano, houve efeito apenas para o S, porém sem ajuste de modelos de regressão de grau até três. As médias obtidas foram (g kg^{-1}): N = 39,4; P = 9,02; K = 12,1; Ca = 16,3; Mg = 6,3; S = 2,0. Os teores foliares de S situaram-se abaixo da faixa de 2,1 a 4,0 g kg^{-1} , citada por Ambrosano et al. (1996) como adequada para a soja, mesmo nas maiores doses de gesso agrícola. Resultados semelhantes

foram obtidos por Anghinoni et al. (1976) e Quaggio et al. (1993), estes últimos, utilizando doses de 2 a 6 t ha⁻¹ de gesso agrícola.

A estimativa da produtividade de grãos não foi influenciada pelas doses de gesso agrícola nos dois anos, tendo sido de 2.215 kg ha⁻¹, no primeiro ano, e de 2.340 kg ha⁻¹, no segundo. Essas produtividades são semelhantes às encontradas por Vitti & Trevisan (2000). A falta de resposta de produtividade às doses de gesso evidencia que os teores de S nesse solo não eram limitantes, tendo sido a quantidade proveniente da mineralização da matéria orgânica suficiente para suprir as necessidades da cultura. Entretanto, devido ao seu rápido deslocamento no perfil do solo, atenção precisa ser dada a esse nutriente, para que sua disponibilidade não venha a ser limitante às culturas.

CONCLUSÕES

1. A aplicação de gesso agrícola causou aumento temporário nos teores de S-sulfato nas amostras de terra, sem efeito residual de um ano para outro, confirmando a alta mobilidade desse íon no perfil do solo.

2. A atividade da arilsulfatase foi pouco influenciada pela adição de gesso agrícola, mas apresentou correlação positiva com o teor de S-reserva.

3. As doses de gesso agrícola não influenciaram a produtividade da soja e, à exceção do S no segundo ano, não alteraram o teor foliar de macronutrientes.

AGRADECIMENTOS

Aos técnicos Roberto A. Chelli e Sueli A.S. Leite, do Laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Tecnologia da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, pelos auxílios prestados durante a instalação e realização dos experimentos.

LITERATURA CITADA

- AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. & CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van & CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico, Fundação IAC, 1996. p.187-203.
- ANGHINONI, I.; FIORESE, I. & MORAES, A.P. Respostas da cultura da soja à aplicação de boro, zinco e enxofre. *Agron. Sulriog.*, 12:189-99, 1976.
- BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J. & SMEDLEY, M.D. Enzyme activities in hill land soils of the Appalachian region. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:367-384, 1988.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R. & GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78)
- CAMARGO, O.A. & RAIJ, B. van. Movimento do fósforo em amostras de Latossolos com diferentes propriedades eletroquímicas. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:275-280, 1989.
- CHOWDHURY, Md. A.H. KOUNO, K.; ANDO, T. & NAGAOKA, T. Microbial biomass, S mineralization and S uptake by African millet from soil amended with various composts. *Soil Biol. Biochem.*, 32:845-852, 2000.
- DAVID, M.B.; MITCHELL, M.J. & NAKAS, J.P. Organic and inorganic sulfur constituents of a forest soil and their relationship to microbial activity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:847-852, 1982.
- DIAS, L.E.; ALVAREZ V., V.H.; COSTA, L.M. & NOVAIS, R.F. Dinâmica de algumas formas de enxofre em colunas de solos tratados com diferentes doses de fósforo e gesso. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:373-380, 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Produção de Informações, 1999. 412p.
- FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., 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*, 6:226-230, 1982.
- GANESHAMURTHY, A.N. & NIELSEN, N.E. Arylsulphatase and the biochemical mineralization of soil organic sulphur. *Soil Biol. Biochem.*, 22:1163-1165, 1990.
- GHANI, A.; McLAREN, R.G. & SWIFT, R.S. Sulphur mineralisation and transformations in soils as influenced by additions of carbon, nitrogen and sulphur. *Soil Biol. Biochem.*, 24:331-342, 1992.
- GUPTA, V.V.S.R.; FARRELL, R.E. & GERMIDA, J.J. Activity of arilsulfatase in Saskatchewan soils. *Can. J. Soil Sci.*, 73:341-347, 1993.
- KAMPRATH, E.J. & TILL, A.R. Sulfur cycling in the tropics. In: BLAIR, G.J. & TILL, A.R., eds. Sulfur in South-East Asian and South Pacific agriculture. Armidale, The Australian Development Assistance Bureau & The Sulphur institute, 1983. p.1-14.
- MASCARENHAS, H.A.A.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.C.; TISSELLI-FILHO, O. & MIYASAKA, S. Calagem e adubação da soja. 3.ed. In: A soja no Brasil Central. Campinas, Fundação Cargill, 1986. CD-ROM
- MELO, W.J. & FERREIRA, M.E. Fatores do solo afetando a produtividade da cultura do arroz de sequeiro: três fatores biológicos. In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DO ARROZ DE SEQUEIRO. Jaboticabal, 1983. Anais. Jaboticabal, FCAV, 1983. p.99-136.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; GALLO, P.B. & MASCARENHAS, H.A.A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 28:375-383, 1993.

- RAIJ, B. van; SILVA, N.M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, A.P.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELINAZZI Jr., R. DECHEN, A.R. & TRANI, P.E. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo, 1985. 107p. (IAC. Boletim Técnico, 100)
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo, 1983. 31p. (IAC. Boletim Técnico, 81)
- SPEIR, T.W. Urease, phosphatase, and sulphatase activities of Cook Island and Tongan soils. *N. Z. J. Sci.*, 27:73-79, 1984.
- STANKO-GOLDEN, K.M. & FITZGERALD, J.W. Sulfur transformations and pool sizes in tropical forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 23:1053-1058, 1991.
- TABATABAI, M.A. Sulfur. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.501-538.
- TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. Arylsulfatase activity of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34:225-229, 1970.
- TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. Distribution of total and available sulfur in selected soils and soil profiles. *Agron. J.*, 64:40-44, 1972.
- VITTI, G.C. & MALAVOLTA, E. Fosfogesso: uso agrícola. In: MALAVOLTA, E., coord. *SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS*. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.161-201.
- VITTI, G.C. Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta. Jaboticabal, FUNEP, 1989. 37p.
- VITTI, G.C. & TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade de soja. *Informações Agrônomicas*. Piracicaba, POTAFÓS, 2000. 16p. (Encarte Técnico, 90)
- YAMADA, T. & LOPES, A.S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. *Informações Agrônomicas*. Piracicaba: POTAFÓS, 1998. p.2-8. (Encarte Técnico, 84)