



Oxidação do enxofre elementar com bentonita em três solos e em função de doses de enxofre⁽¹⁾.

Caio Rodrigues de Campos⁽²⁾; Leandro José Grava de Godoy⁽³⁾; Nilton Koga Ferreira Rosa⁽⁴⁾; André Tirapelle Perez⁽⁴⁾; Robson Luís Araujo Miranda⁽⁴⁾; Analí Rufino Poppi⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Fluid Fertilizer.

⁽²⁾ Graduando do curso de Agronomia; Universidade Estadual Paulista – Campus de Registro; Registro, SP; caiorodrigues65@hotmail.com; ⁽³⁾ Professor Assist. Dr. do curso de Agronomia; UNESP – Campus de Registro; Registro, SP; legodoy@registro.unesp.br; ⁽⁴⁾ Graduando do curso de Agronomia; UNESP – Campus de Registro.

RESUMO: O uso do S-elementar como fertilizante, isoladamente ou associado aos fertilizantes mistos, pode reduzir os custos de adubação em solos deficientes em S ou aumentar a produtividade das culturas. Objetivou-se com este trabalho determinar a marcha de oxidação do S-elementar com bentonita, em solos de diferentes texturas e em função de doses de enxofre. O presente trabalho foi conduzido no Campus Experimental de Registro da Universidade Estadual Paulista. Foram instalados três experimentos com solos de características químicas e texturas contrastantes (de textura arenosa, média e argilosa), utilizando delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Em cada experimento foram utilizadas quatro doses de S equivalente a 0, 350, 700 e 1.400 mg dm⁻³ S, aplicados em 400 g de cada solo. Logo após a aplicação e aos 15, 60 e 90 dias após a aplicação dos tratamentos foram coletadas as amostras de solo e determinados os teores de S-SO₄²⁻ utilizando o extrator o fosfato de cálcio. A oxidação do S-elementar com bentonita iniciou-se a partir dos 15 dias após a aplicação do produto aos solos (DAA) e atingiu o pico entre os 38 e 58 DAA, nos três solos avaliados. Os maiores teores de sulfato no solo, proporcionado pela aplicação S-elementar com bentonita, foram de 69, 129 e 251mg dm⁻³, nos solos de textura arenosa, argilosa e média, respectivamente. O S-elementar com bentonita aumentou o teor de sulfato nos três solos e pode ser usado como fonte de S na agricultura.

Termos de indexação: sulfato; adubação; fertilizante.

INTRODUÇÃO

Segundo Alvarez-Venegas et al. (2007) o S é inadequadamente chamado de macronutriente secundário e é agrupado com Ca e Mg, ao invés de estar agrupado com N e P, com os quais forma parte dos aminoácidos. Grandes áreas do planeta apresentam solos com deficiência de S, especialmente os mais intemperizados. O íon SO₄²⁻

é a forma na solução do solo absorvida pelas plantas e sua disponibilidade, entretanto, depende dos processos de adsorção/dessorção, mineralização/imobilização, lixiviação, redução, oxidação, etc.

O uso de fertilizantes que contêm baixos teores de S, em solos com baixos teores matéria orgânica pode resultar em limitação desse nutriente para as culturas (Horowitz & Meurer, 2006). O uso do S-elementar como fertilizante, isoladamente ou associado aos fertilizantes mistos pode reduzir os custos de adubação em solos deficientes em S ou aumentar a produtividade das culturas.

O uso eficiente de adubos contendo enxofre deve passar pelo diagnóstico da disponibilidade deste nutriente no solo e diversos extratores são utilizados, sendo o mais comum, o fosfato monocálcico, utilizado em vários estados brasileiros (Cantarella & Montezano, 2010).

Objetivou-se com este trabalho determinar a marcha de oxidação do enxofre com bentonita, em solos de diferentes texturas e em função de doses de enxofre.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido na casa de vegetação do Campus Experimental de Registro da Universidade Estadual Paulista (UNESP), em Registro, SP, com duração de quatro meses.

Foram instalados três experimentos com solos de características químicas e texturas contrastantes (de textura arenosa, média e argilosa). Os tratamentos foram instalados em 15 de novembro de 2014, em delineamento inteiramente casualizado e utilizando três repetições.

Os solos utilizados no experimento foram coletados na camada de 0 a 0,20 m, sendo estes de textura argilosa, média e arenosa com as seguintes composições granulométricas (EMBRAPA, 1997): 44; 330; 712 g kg⁻¹ de areia total; 203; 149 g kg⁻¹ argila e 396; 467; 139 g kg⁻¹ de silte respectivamente. Os resultados da análise química (RAIJ et al., 2001) e das composições



granulométricas (EMBRAPA, 1997) foram as seguintes para os solos: a) *textura argilosa* - 44; 570 e 396 g kg⁻¹ de areia, argila e silte, respectivamente; pH (CaCl₂) 4,2; MOS de 88 g dm⁻³; P (resina) de 79 mg dm⁻³; 179; 1,5; 21; 11; 214 mmol_c dm⁻³ de H+Al, K, Ca, Mg e CTC, respectivamente; V de 16%; 19; 0,28; 3,2; 383; 3; 2,5 mg dm⁻³ S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente; b) *Textura média* - 330; 203 e 467 g kg⁻¹ de areia, argila e silte, respectivamente; pH (CaCl₂) 5,9; MOS de 49 g dm⁻³; P (resina) de 232 mg dm⁻³; 38; 5,4; 91; 41; 176 mmol_c dm⁻³ de H+Al, K, Ca, Mg e CTC, respectivamente; V de 78%; 16; 1,25; 5,5; 168; 37,9; 24,9 mg dm⁻³ S, B, Cu, Fe, Mne e Zn, respectivamente; c) *Textura Arenosa* - 712; 149 e 139 g kg⁻¹ de areia, argila e silte, respectivamente pH (CaCl₂) 5,2; MOS de 18 g dm⁻³; P (resina) de 16 mg dm⁻³; 35; 0,9; 16; 4; 60 mmol_c dm⁻³ H+Al, K, Ca, Mg e CTC; V de 37%; 8; 0,35; 5,2; 21; 1,7; 2 mg dm⁻³ S, B, Cu, Fe, Mne e Zn, respectivamente.

Em cada experimento foram utilizadas quatro doses de S equivalente a 0, 350, 700 e 1.400 mg dm⁻³ S. As doses utilizadas foram baseadas nas utilizadas por Horowitz & Meurer (2006), de 0 a 12.000 mg kg⁻¹ S. Para o cálculo foi considerada uma eficiência média de 50%.

Foram utilizados recipientes plásticos com tampa perfurada (seis furos por tampa para permitir a entrada de ar) contendo 400 g de solo. Os solos foram coletados na região de Registro, SP, levados para o laboratório para secagem e, após seco, passados em peneira de malha de 2 mm.

A fonte de enxofre elementar com bentonita na forma de pastilha (90% S e 10% bentonita) foi misturada ao solo, de acordo com os tratamentos e após mistura acondicionados nos recipientes. A umidade foi mantida em 50% da capacidade de campo por meio de pesagens periódicas e reposição de água, quando necessário.

Logo após a aplicação e aos 15, 60 e 90 dias após a aplicação dos tratamentos foram coletadas as amostras de solo. Cada amostra foi composta pelo volume total de solo de cada recipiente para não haver problemas com amostragem. As amostras foram secas em estufa de circulação de ar a 40 °C e determinados os teores de S-SO₄²⁻ utilizando o extrator o fosfato de cálcio, segundo metodologia descrita por Raij et al., (2001).

Os dados climáticos foram obtidos do CIAGRO Online (2015) (dados não apresentados).

Os resultados dos experimentos foram submetidos à análise de variância e de regressão. Cada solo utilizado constituiu um experimento. As médias do teor de S-SO₄²⁻ foram ajustadas de acordo com a data de avaliação ou com a dose de

S, por meio das análises de regressão, utilizando o modelo linear ou quadrático. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o SisVar ver. 4.2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em solo de textura arenosa o pico de oxidação do enxofre elementar com bentonita ocorreu entre os 40 e 48 dias após a aplicação (DAA) do produto ao solo, sendo o maior tempo de oxidação necessário para as doses maiores (Figura 1). O pico de oxidação ocorreu em janeiro de 2015, com às maiores temperaturas do ar, chegando a 33,4°C, de média da temperatura máxima.

A oxidação do S natural do solo correspondeu à elevação do teor em 5 mg dm⁻³ S-SO₄²⁻ a cada 10 dias, até os 38 DAA e depois reduzindo para um teor (14 mg dm⁻³) mais baixo do que no início do experimento (14 mg dm⁻³). Na dose de 700 mg dm⁻³ S, na forma de S elementar com bentonita o aumento do teor de S-SO₄²⁻ no solo foi de 17 mg dm⁻³, a cada 10 dias, até o quadragésimo oitavo dia após a aplicação, três vezes mais que o tratamento sem aplicação de enxofre. No final, o teor de S-SO₄²⁻ neste tratamento foi mais que o dobro (34 mg dm⁻³) no tratamento sem aplicação de S. Segundo Sfredo (2003) em solo arenoso (< 400 g kg⁻¹ argila) teores acima de 3 mg dm⁻³ já podem ser considerados altos.

O aumento do teor de sulfato no solo com as doses de S, na forma do enxofre elementar com bentonita, foi de forma linear aos 15 e 90 DAA e de forma quadrática aos 60 DAA (Figura 2), atingindo um valor máximo próximo da dose mais alta (1.135 mg dm⁻³ S).

Aos 60 DAA, com a adição de 100 mg dm⁻³ S, na forma de S elementar com bentonita, o teor de sulfato oxidado aumentou em 7 mg dm⁻³, o suficiente para atender as culturas em solo arenoso. Na dose mais alta do enxofre elementar com bentonita, o teor de sulfato no solo chegou atingir 69 mg dm⁻³. Os resultados de Horowitz e Meurer (2006) indicam que pode haver um limite para a dose de S-elementar a ser adicionada ao solo, a partir do qual pode ocorrer inibição da oxidação pelo acúmulo de produtos ácidos e tóxicos aos microrganismos oxidantes.

Semelhante ao que ocorreu no solo arenoso, no solo de textura média-siltosa, o pico de oxidação do enxofre elementar com bentonita ocorreu entre os 38 e 47 dias após a aplicação do produto ao solo, sendo o maior tempo de oxidação necessário para as doses maiores (Figura 3). O teor de sulfato no solo, no tratamento que não recebeu aplicação de S, reduziu de forma linear com o tempo, de 30 para 18 mg dm⁻³. Na dose maior do enxofre elementar com bentonita, o teor de sulfato oxidado chegou



aumentar 10 mg dm^{-3} a cada dia, atingindo 250 mg dm^{-3} , aos 48 DAA. No final, o teor de S-SO_4^{2-} neste tratamento foi mais que o dobro (39 mg dm^{-3}) no tratamento sem aplicação de S. Segundo Sfredo et al. (2003) em solo com teor $< 400 \text{ g kg}^{-1}$ argila, teores acima de 9 mg dm^{-3} já podem ser considerados altos.

O aumento do teor de sulfato no solo com as doses de S, na forma S elementar com bentonita, em solo de textura média, foi de forma linear aos 15 e 90 DAA e de forma quadrática aos 60 DAA, atingindo um valor máximo na da dose mais alta (Figura 4). Aos 15 e 90 DAA, o aumento do teor de S-sulfato, foi de, aproximadamente, 2 mg dm^{-3} S-SO_4^{2-} a cada 100 mg dm^{-3} S, na forma de enxofre elementar com bentonita. Aos 60 DAA, quando ocorreu o pico de oxidação, este aumento subiu para 3 mg dm^{-3} S-SO_4^{2-} a cada 100 mg dm^{-3} S, na forma de enxofre elementar com bentonita.

Aos 38 e 58 dias após a aplicação do produto ao solo, em solo de textura argilosa, ocorreu o pico de oxidação do enxofre elementar com bentonita, sendo o maior tempo de oxidação necessário para as doses maiores (Figura 5). O teor de sulfato no solo, no tratamento que não recebeu aplicação de S, não foi alterado de forma significativa, durante o período de avaliação. O teor de sulfato oxidado aumentou 7, 20 e 24 mg dm^{-3} a cada 10 dias, para as doses de 350, 700 e 1400 mg dm^{-3} , respectivamente, até atingirem seus pontos de máximo.

O aumento do teor de sulfato no solo com as doses de S, na forma do enxofre elementar com bentonita, foi de forma linear aos 60 e 90 DAA e de forma quadrática aos 15, atingindo um valor máximo na dose de 770 mg dm^{-3} S, aos 15 DAA (Figura 6). O aumento foi de, aproximadamente, 6 e 5 mg dm^{-3} S-SO_4^{2-} a cada 100 mg dm^{-3} S, na forma de enxofre elementar com bentonita, aos 60 e 90 DAA, respectivamente. O maior teor de sulfato no solo foi atingido aos 60 DAA, na maior dose do S-elementar com bentonita, alcançando 129 mg dm^{-3} .

Observou-se, para os três solos, que a taxa de oxidação do S elementar granulado com bentonita foi menor do que a do S-elementar na forma de pó observado por Horowitz & Meurer (2006). Segundo Horowitz & Meurer (2005), em uma revisão sobre o uso do enxofre elementar como fertilizante, a oxidação mais lenta destes produtos granulados tem sido atribuída à inadequada dispersão das partículas de S-elementar após a aplicação do produto ao solo, principalmente no caso do experimento, no qual o S-elementar com bentonita foi misturado ao solo. A aplicação destes grânulos na superfície do solo, devido à precipitação e a outros fatores climáticos, pode facilitar a melhor

dispersão e aumentar a taxa de oxidação. Godoy et al. (2014) observaram que a aplicação de S-elementar com bentonita na superfície de solos de bananais, proporcionou aumento linear de S-SO_4^{2-} na camada de 0 a 0,2 m do solo.

CONCLUSÕES

A oxidação do S do enxofre elementar com bentonita iniciou-se a partir dos 15 DAA e atingiu o pico entre os 38 e 58 DAA, nos três solos avaliados.

Os maiores teores de sulfato no solo, proporcionado pela aplicação do enxofre elementar com bentonita, foram de 69, 129 e 251 mg dm^{-3} , nos solos de textura arenosa, argilosa e média, respectivamente.

O enxofre elementar com bentonita aumentou o teor de sulfato nos três solos e pode ser usado como fonte de S na agricultura.

AGRADECIMENTOS

À Fluid Fertilizer pelo financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, V. H. et al. **Enxofre**. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed) *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 595-644.
- CANTARELLA, H. & MONTEZANO, Z. F. **Nitrogênio e enxofre**. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds) *Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes*. Piracicaba: IPNI- Brasil, 2010. v.2, p 2-65.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro Embrapa-CNPQ, 1997
- GODOY, L.J.G. et al. Soil chemical attributes according to doses of bentonite sulphur and gypsum. In: WORLD FERTILIZER CONGRESS - CIEC, 16.,2014, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Viçosa: SBCS. 2014.
- HOROWITZ, N. & MEURER, E.J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, v.36,n.3,p.822-828,2006.
- HOROWITZ, N. & MEURER, E.J. Uso do enxofre elementar como fertilizante. **Informações Agronômicas**, n.112, p.4-7, 2005.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- SFREDO, G.J. e al. Níveis críticos de enxofre no solo para a soja, no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: UNESP, 2003. 1 CD-ROM.

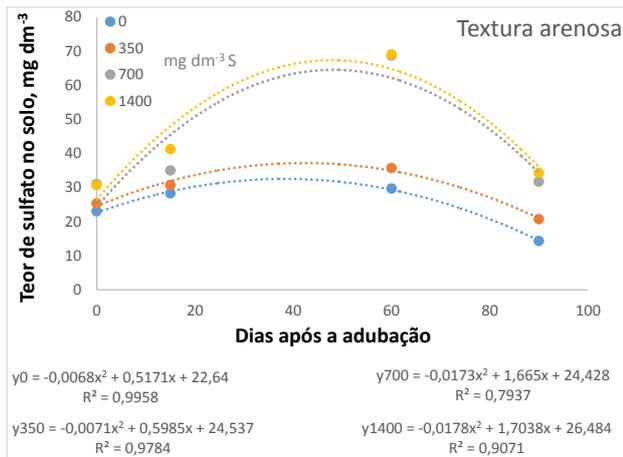


Figura 1. Curvas de oxidação do S-elementar + bentonita em solo de textura arenosa e em quatro doses de S (Registro, SP, 2015).

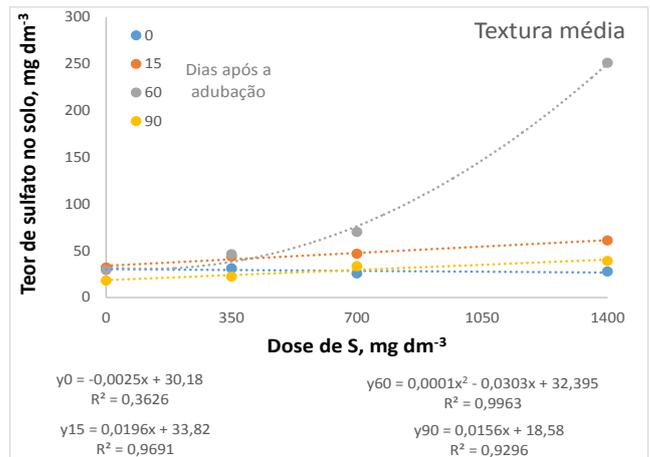


Figura 4. Teor de sulfato oxidado no solo de textura arenosa, em função das doses de S, na forma de S-elementar + bentonita (Registro, SP, 2015).

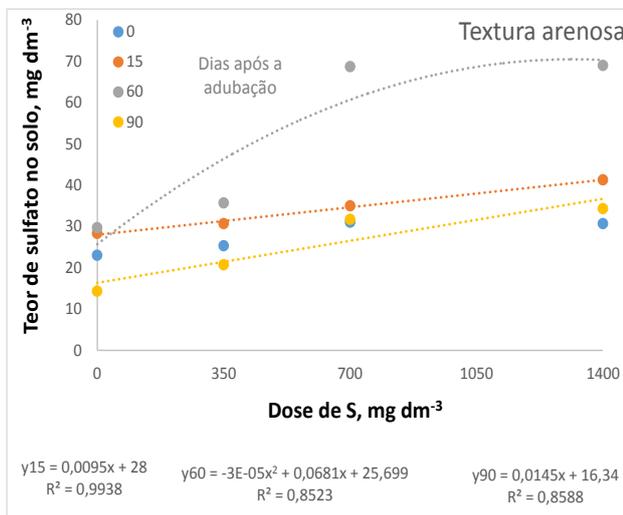


Figura 2. Teor de sulfato oxidado no solo de textura arenosa, em função das doses de S, na forma de S-elementar + bentonita (Registro, SP, 2015).

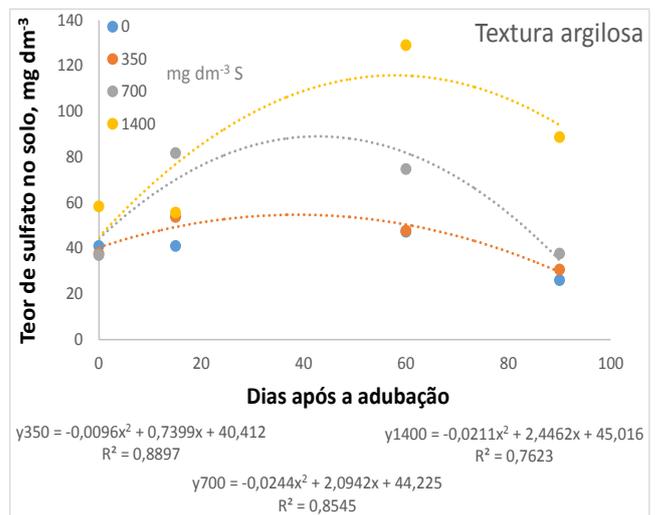


Figura 5. Teor de sulfato oxidado no solo de textura argilosa, em função das doses de S, na forma de S-elementar + bentonita (Registro, SP, 2015).

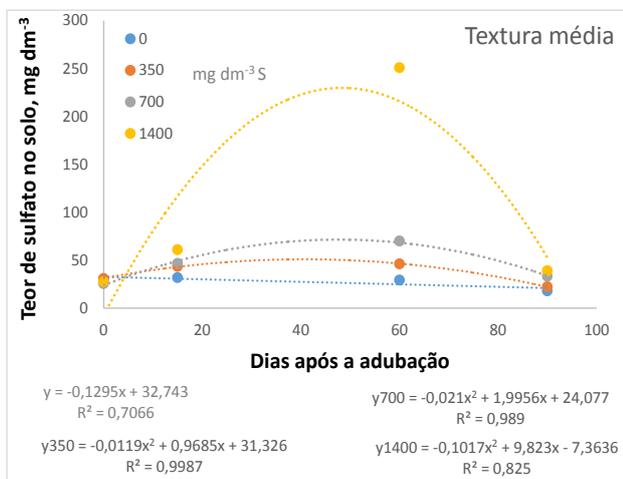


Figura 3. Curvas de oxidação do S-elementar + bentonita em solo de textura média-siltosa e em quatro doses de S (Registro, SP, 2015).

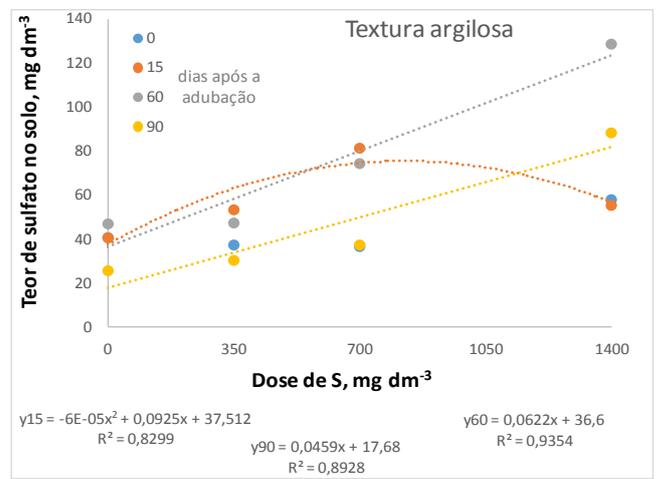


Figura 6. Teor de sulfato oxidado no solo de textura argilosa, em função das doses de S, na forma de S-elementar + bentonita (Registro, SP, 2015).