

Assimilação foliar de enxofre elementar pela soja

Godofredo Cesar Vitti⁽¹⁾, José Laércio Favarin⁽²⁾, Luiz Antonio Gallo⁽³⁾, Sônia Maria de Stefano Piedade⁽⁴⁾,
Maria Regina Meirelles de Faria⁽¹⁾ e Fernanda Cicarone⁽¹⁾

⁽¹⁾Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq), Dep. de Solos e Nutrição de Plantas, Av. Pádua Dias, nº 11, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. E-mail: gcvitti@esalq.usp.br, reginamf@hotmail.com, fernandacicarone@hotmail.com ⁽²⁾Esalq, Dep. de Produção Vegetal. E-mail: jlfavari@esalq.usp.br ⁽³⁾Esalq, Dep. de Ciências Biológicas. E-mail: luagallo@esalq.usp.br ⁽⁴⁾Esalq, Dep. de Ciências Exatas. E-mail: soniamsp@esalq.usp.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a assimilação de enxofre elementar (S⁰), aplicado nas folhas de soja, e sua eficiência comparada à adubação feita ao solo, de acordo com a dose e a natureza da fonte do nutriente. O S⁰ aplicado às folhas, independentemente da dose e fonte, foi assimilado pela planta, o que acarretou em aumento no teor de proteína total na folha. Todas as fontes de S aplicadas às folhas aumentaram a produção de grãos, semelhantemente à aplicação ao solo. Observou-se uma mesma produtividade com o uso de 20 kg ha⁻¹ de S⁰ no solo ou de 6 kg ha⁻¹ via foliar. A eficiência da aplicação de S via foliar, com base no conteúdo de proteína solúvel total, foi superior à da aplicação ao solo.

Termos para indexação: *Glycine max*, produção de soja, proteína, glutathione reductase, nutrição vegetal.

Foliar elementary sulfur assimilation by soybean

Abstract – The objective of this work was to evaluate the elementary sulfur (S⁰) assimilation applied on soybean leaves, and its efficiency compared to the fertilization done in the soil, according to the dose and nature of the nutrient source. The S⁰ applied to leaves, independently of the dose and source, was assimilated by the plant, what resulted in increase of total protein content in the leaf. All S sources applied to leaves increased the grain yield, similarly to the application to the soil. The same productivity was observed with the use of 20 kg ha⁻¹ of S⁰ in the soil or 6 kg ha⁻¹ applied to leaves. The elementary S application efficiency on leaves, based on the content of total soluble protein, was superior to application efficiency on soil.

Index terms: *Glycine max*, soybean yield, protein, glutathione reductase, plant nutrition.

Introdução

A deficiência de S na agricultura ocorre em diversas regiões do Brasil, em razão da baixa fertilidade do solo (Malavolta, 1982), associada à pequena quantidade de matéria orgânica, do aumento da exportação de S pelos grãos, causados por produtividade elevada das variedades melhoradas, e da lixiviação de sulfato, acentuada pela aplicação de calcário e fósforo.

O enxofre elementar (S⁰), quando aplicado ao solo, somente é absorvido pelas plantas depois de sua oxidação a sulfato por meio de reações catalisadas, principalmente, por microrganismos (Horowitz & Meurer, 2006).

A análise química em folhas de trigo, após aplicação de ³⁵S⁰ por Legris-Delaporte et al. (1987), indicou que houve a absorção e assimilação de enxofre elementar, que foi incorporado em compostos orgânicos como os aminoácidos (cisteína, cistina, metionina e glutathione forma reduzida) e proteínas. Por sua vez, o estudo sobre o

metabolismo do enxofre elementar, em cloroplastos de trigo e espinafre, por Jolivet et al. (1995), evidenciou que há síntese de compostos que contêm S (tiosulfato, cisteína e glutathione), a partir da absorção e metabolização de ³⁵S⁰.

Em estudo sobre tempo de absorção e de translocação de fósforo e enxofre, Boaretto et al. (1986) forneceram enxofre via foliar para o feijoeiro, na forma de sulfato de potássio, com o S marcado (³⁵S), e observaram que a absorção de 50% de S ocorre após 16 horas, e a translocação se inicia somente depois de oito horas da aplicação.

Não existem publicações recentes sobre o assunto, e poucas informações foram produzidas sobre a absorção e a assimilação de enxofre elementar (S⁰) em compostos orgânicos. Este conhecimento é fundamental à aplicação foliar desse nutriente, indicado para a fertilização suplementar com a finalidade de corrigir sua deficiência durante o ciclo da cultura.

No mercado brasileiro são comercializadas várias fontes de S⁰, sem o embasamento científico suficiente para se justificar o uso crescente dessas formulações em adubação foliar (Vitti et al., 2006).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a absorção e assimilação do S⁰, aplicado à folha, e a sua eficiência em relação à adubação feita no solo, em função da dose e da natureza da fonte desse nutriente, na cultura de soja.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação, de agosto a dezembro de 2005, utilizando-se Neossolo Quartzarênico distrófico, de textura arenosa (840 g kg⁻¹ de areia total) (Tabela 1). O teor de S determinado no solo foi baixo (3 mg dm⁻³) (Vitti, 1988).

O solo, depois de destorroado, secado à sombra e moído, foi peneirado para separação da fração menor que 2 mm, a qual foi incubada durante 30 dias, com calcário dolomítico (30% de CaO, 18% de MgO e 96% de PRNT) em dose equivalente, para elevar a saturação por bases a 70%, em vasos de plástico de 5 L (Tabela 1).

As sementes de soja, variedade BRS 133, foram desinfetadas com água sanitária diluída à proporção de 1:10, por imersão durante 5 min, e lavadas com água destilada. As sementes foram colocadas, durante 40 min, em solução com *Bradyrizobium japonicum* em dose calculada para fornecer 1.200.000 células por semente (Embrapa Soja, 2004), tendo-se completado o tratamento com a aplicação de Mo (20 g kg⁻¹) e Co (3,5 g kg⁻¹), em dose equivalente à quantidade de sementes necessária para o plantio de um hectare. A semeadura foi feita à profundidade de 2 cm, tendo-se deixado, após a emergência, quatro plantas por recipiente.

O experimento foi constituído de sete tratamentos, dispostos em blocos ao acaso, tendo-se combinado métodos de aplicação de enxofre (foliar, solo e solo + foliar), doses do nutriente aplicado às folhas (6 e 8 kg ha⁻¹) e ao solo (20 kg ha⁻¹), e fontes de S elementar (pó molhável – 90% de S; suspensão homogênea – 55% de S; e pó ventilado – 95% de S), com quatro repetições (Tabela 2).

Para o plantio da soja, foram misturados, em 5 L de solo: 15 mg kg⁻¹ de N; 200 mg kg⁻¹ de P; 150 mg kg⁻¹ de K; 75 mg kg⁻¹ de Ca; 15 mg kg⁻¹ de Mg; 0,5 mg kg⁻¹ de B; 1,5 mg kg⁻¹ de Cu; 5 mg kg⁻¹ de Fe; 3 mg kg⁻¹ de Mn; 5 mg kg⁻¹ de Zn e 0,1 mg kg⁻¹ de Mo; de acordo com a recomendação padrão para ensaio em casa de vegetação, proposta por Malavolta (1980). As fontes dos nutrientes não continham enxofre em sua composição, para não influenciar as dosagens dos tratamentos.

A dose total de N (15 mg kg⁻¹) foi fornecida em duas vezes, a primeira misturada com o solo (8 mg kg⁻¹) e a segunda em cobertura (7 mg kg⁻¹). Quanto ao K, 50 mg kg⁻¹ de K₂O foi misturado ao solo, e a dose restante foi aplicada em quatro coberturas de 25 mg kg⁻¹, para evitar o risco de perdas por lixiviação e efeito salino.

As adubações foliares com S foram realizadas em duas épocas, a primeira no estádio V4, quando as plantas apresentavam quatro trifólios expandidos, e a segunda no estádio R1, com plantas no início do florescimento. Nas adubações foliares, os fertilizantes foram aplicados às plantas com um pulverizador de pressão manual de 1.000 mL e bico cônico. A superfície do solo foi protegida da deriva de S durante a aplicação foliar, por meio de uma cobertura com plástico, nos tratamentos T2, T4 e T7 e sem a proteção durante a pulverização das plantas dos tratamentos T3 e T5. Em cada conjunto de quatro plantas por vaso, foram aplicados às folhas 25 mL de uma solução contendo S⁰, de acordo com a dose definida para cada tratamento (Tabela 2). No cálculo do volume de calda por planta, foi considerada população de 400 mil plantas por hectare e pulverização com alto volume (2.000 L ha⁻¹), que equivale a 20 mL nas quatro plantas por vaso. Assim, com a aplicação de 25 mL por tratamento, obteve-se o molhamento adequado de toda a superfície foliar das quatro plantas de cada vaso.

Depois de 15 dias da segunda aplicação do fertilizante, coletou-se o 4^o trifólio, a partir da base de quatro plantas por repetição, para a determinação da atividade da glutatona redutase (GR) e da quantidade de proteína total solúvel (mg g⁻¹ de MF) nas folhas da soja, confor-

Tabela 1. Resultados das análises químicas de solo, antes⁽¹⁾ e depois da incubação (T1 a T7)⁽²⁾ do solo com calcário dolomítico.

Época	pH CaCl ₂	MO (g dm ⁻³)	P _{resina} ----- (mg dm ⁻³) -----	S	K	Ca	Mg	Al	SB	T	V	m
Antes	4,1	6,5	3,5	3,0	0,4	7,0	1,0	5,0	8,4	29,0	29,0	38
T1 a T7	7,5	7,7	13,4	6,7	0,3	22,1	3,6	0,0	26,0	34,0	81,7	0

⁽¹⁾Média de três repetições. ⁽²⁾Média de quatro repetições.

me Bradford (1976). A atividade da GR foi determinada segundo Pompeu (2005) e monitorada pela redução da glutatona, acompanhada pela alteração da absorvância a 412 nm, cujos resultados determinados foram expressos em micromoles de glutatona reduzida por minuto por miligrama de proteína.

Para a análise da quantidade de S foliar (mg planta^{-1}), coletou-se o 5º trifólio, a partir da base de três plantas por repetição, na mesma época (15 dias após a 2ª aplicação). O fertilizante presente na superfície das folhas foi eliminado por lavagem com água destilada, seguida da imersão em solução com detergente neutro e nova lavagem em água destilada. As folhas foram, então, imersas em solução de HCl (uma parte de HCl concentrado para nove partes de água) e, finalmente, uma última lavagem em água destilada. Esses cuidados foram adotados para que o S determinado na folha fosse, efetivamente, aquele absorvido pelas plantas. No cálculo da eficiência da aplicação foliar de S^0 , em relação ao fornecimento ao solo, considerou-se o teor de proteína total solúvel nas folhas (mg g^{-1} MF).

A avaliação do estado nutricional, em relação ao teor de S (mg kg^{-1}) contido na folha foi feita no 4º trifólio, a partir do ápice de quatro plantas por repetição (Malavolta et al., 1997). No preparo da amostra repetiram-se os procedimentos descritos anteriormente, seguidos da secagem em estufa com circulação de ar a 70°C , durante 48 horas. No final desse período, determinou-se a matéria seca das amostras e a quantidade de nutrientes, conforme Malavolta et al. (1997).

A produção (g planta^{-1}) de soja e o teor de S (mg g^{-1}) nos grãos foram obtidos em amostras colhidas em quatro plantas por parcela, nas quais se determinou o teor de água para a correção da umidade para 120 g kg^{-1} ,

para comparação da produtividade nas mesmas bases. Na seqüência, as amostras de grãos foram submetidas à análise para a determinação do teor de S.

No final do experimento, após a colheita dos grãos, as folhas remanescentes, caules e raízes foram coletados separadamente, lavados para a eliminação de resíduos de solo e fertilizantes, e colocados para secar em estufa com circulação de ar a 70°C , durante 48 horas. Ao final da secagem, obteve-se a massa de matéria seca de caules, folhas, raízes e da matéria seca total.

As médias de quantidades de S e N nas folhas, produção de grãos, teor de S nos grãos, atividade da GR, e quantidade de proteína total solúvel nas folhas de soja foram comparadas por meio de sete contrastes (C1: T1 x T2, T3, T4, T5, T6 e T7; C2: T2, T3, T4 e T5 x T6 e T7; C3: T2 e T3 x T4 e T5; C4: T2 x T3; C5: T4 e T5; C6: T6 x T7; e C7: T2, T3, T4 e T5 x T6). No contraste 1, foram feitas comparações entre as plantas controle (T1 – sem S^0) e as plantas dos tratamentos que receberam o nutriente nas folhas (T2, T3, T4 e T5), no solo (T6) e solo + foliar (T7). Pelo contraste 2, compararam-se as médias obtidas nas plantas que receberam exclusivamente S^0 via foliar (T2, T3, T4 e T5) com as daquelas que receberam somente via solo (T6) e as médias das que foram adubadas tanto no solo quanto nas folhas (T7). No contraste 3, compararam-se as doses foliares de S^0 de 8 kg ha^{-1} (T2 e T3) e 6 kg ha^{-1} (T4 e T5), enquanto nos contrastes 4 e 5, dentro de cada dose foliar, compararam-se os resultados em solo protegido da aplicação foliar de S^0 . No contraste 6, foram comparadas as médias obtidas com a aplicação de S^0 no solo e via foliar (T6) e a aplicação feita unicamente no solo (T7). Finalmente, pelo contraste 7, compararam-se os dados obtidos com a aplicação foliar, independentemente da dose (T2, T3, T4, e T5), com dados avaliados pelo fornecimento de S ao solo (T6).

As análises estatísticas foram feitas por meio de testes de comparações múltiplas das médias, em complemento ao teste F, exceto para matéria seca total e o teor foliar de S, cujas médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Banzatto & Kronka, 1995).

Resultados e Discussão

O fornecimento de S via foliar aumentou os teores de S e N nas folhas, independentemente da dose e da na-

Tabela 2. Doses de enxofre elementar (kg ha^{-1}), natureza da fonte, épocas e formas de aplicação do nutriente.

Dose e natureza da fonte de S^0	Épocas de aplicação	Método de aplicação
T1. Controle	-	-
T2. 8 kg ha^{-1} de S (pó, formulação molhável)	$\frac{1}{2}$ estágio V4 + $\frac{1}{2}$ estágio R1	Via foliar com proteção
T3. 8 kg ha^{-1} de S (pó, formulação molhável)	$\frac{1}{2}$ estágio V4 + $\frac{1}{2}$ estágio R1	Via foliar sem proteção
T4. 6 kg ha^{-1} de S (fluido, suspensão homogênea)	$\frac{1}{2}$ estágio V4 + $\frac{1}{2}$ estágio R1	Via foliar com proteção
T5. 6 kg ha^{-1} de S (fluido, suspensão homogênea)	$\frac{1}{2}$ estágio V4 + $\frac{1}{2}$ estágio R1	Via foliar sem proteção
T6. 20 kg ha^{-1} de S (pó, ventilado)	$\frac{1}{2}$ semeadura + $\frac{1}{2}$ cobertura	Via solo
T7. 20 kg ha^{-1} de S (pó, ventilado) e 8 kg ha^{-1} S (pó, formulação molhável)	$\frac{1}{2}$ semeadura + $\frac{1}{2}$ cobertura e $\frac{1}{2}$ estágio V4 + $\frac{1}{2}$ estágio R1	Via solo e foliar com proteção

tureza química da fonte do nutriente (Tabela 3). O aumento no teor de N indica que a concentração desse nutriente na planta depende do fornecimento de S (Malavolta, 2006). O teor de S nas folhas não foi influenciado pela dose foliar, nem na presença nem na ausência da proteção do solo à aplicação, como comprovado pelo teor de S, igual para ambas as doses, de 7,2 mg planta⁻¹ (Tabela 3).

A aplicação de S⁰ foliar foi eficiente, pois elevou o teor foliar do nutriente (7,2 mg planta⁻¹), comparativamente à aplicação exclusiva ao solo (4,9 mg planta⁻¹, Tabela 3). A aplicação combinada de S ao solo e às folhas (6,2 mg planta⁻¹) também propiciou maior teor foliar desse nutriente, quando comparada ao fornecimento exclusivo ao solo.

A produção de grãos foi influenciada pela adubação com S elementar, em consequência do baixo teor desse nutriente no solo, independentemente do método de aplicação (Tabela 3). A produção das plantas que receberam S⁰ foliar não diferiu daquelas adubadas no solo. Esse resultado indica que houve absorção foliar de S⁰, o que corrobora os resultados de Legris-Delaporte et al. (1987) e Jolivet et al. (1995), e indica que a adubação foliar com S⁰ pode ser uma alternativa para o fornecimento de S às plantas. As produções das plantas com o solo protegido da deriva de S, durante a aplicação foliar, foram menores do que as das plantas com solo sem proteção, o que evidencia que este cuidado deve ser adotado para não incorrer em erros de interpretação (Tabela 3).

A quantidade de S nos grãos não diferiu em razão dos tratamentos (Tabela 3), mesmo com o aumento no teor foliar pela aplicação do nutriente, o que pode ser explicado pela baixa translocação do nutriente na planta, também verificada na translocação das folhas velhas para as folhas novas (Epstein & Bloom, 2006).

Os resultados da atividade da glutatona redutase (GR) e do teor de proteínas total solúvel, em consequência da

adubação foliar com S⁰, evidenciam grande variabilidade tanto no comportamento da enzima, quanto no teor de proteína total (Tabela 3). Este resultado está relacionado, provavelmente, com as múltiplas funções da glutatona, e com os vários fatores que influenciam a sua atividade (Taiz & Zeiger, 2004). O fornecimento de S⁰ via foliar pode ter promovido a catalização da GR, pois houve aumento em sua atividade (3,0 μmol min⁻¹ mg⁻¹ proteína), em relação ao fornecimento do S⁰ ao solo (T6: 1,7 μmol min⁻¹ mg⁻¹ proteína), cuja absorção se dá na forma oxidada (Horowitz & Meurer, 2006).

O conteúdo de proteína total solúvel nas folhas também aumentou com a aplicação foliar, em relação ao fornecimento ao solo. Portanto, houve assimilação de S nas folhas adubadas com S⁰, com incremento de 23,3 mg de proteína por grama de MF o que representa, aproximadamente, um ganho de 51% (Tabela 3). Esta observação corrobora os resultados obtidos por Legris-Delaporte et al. (1987), que constataram a assimilação de S elementar (³⁵S), que foi metabolizado em compostos orgânicos, como os aminoácidos cistina, metionina e glutatona. A quantidade de proteína total solúvel foliar, advinda da absorção exclusiva de S oxidado nativo do solo, foi inferior ao teor determinado nas plantas adubadas com S, embora a atividade da GR fosse semelhante (Tabela 3), uma indicação de que a formação de proteína sulfurada não é a única função desta enzima (Taiz & Zeiger, 2004).

A matéria seca total aumentou com a aplicação de S, independentemente do método de aplicação de S e da natureza da fonte do nutriente (Tabela 4). Observou-se resultado semelhante para o teor foliar de S na folha diagnóstico, exceto para a aplicação ao solo, em que o teor foliar (S) não diferiu das plantas-controle (T1, Tabela 4). Ressalta-se que o teor de S na folha

Tabela 3. Comparações de médias de teor de enxofre e nitrogênio nas folhas (mg planta⁻¹), produção de grãos (g planta⁻¹), teor de enxofre nos grãos (mg g⁻¹), atividade da glutatona redutase (GR) (μmol min⁻¹ mg⁻¹ proteína) e conteúdo de proteína total solúvel (mg g⁻¹ MF) nas folhas de soja.

Contraste	GL	F	S na folha	F	N na folha	F	Produção	F	S dos grãos	F	GR	F	Proteína na folha
C1: T1 x T2 a T7	1	67,29**	2,0x6,9	25,47**	70,7x162,4	270,34**	3,4x6,5	6,47 ^{ns}	2,6x1,8	5,0 ^{ns}	3,3x2,5	10,76*	41,5x65,7
C2: T2,3,4,5 x T6,7	1	4,62*	7,2x6,2	1,73 ^{ns}	168,8x149,6	13,62**	6,3x6,9	1,02 ^{ns}	1,8x1,8	29,67**	3,0x1,5	2,29 ^{ns}	62,7x71,6
C3: T2,3 x T4,5	1	0,01 ^{ns}	7,2x7,2	1,57 ^{ns}	179,6x158,2	0,51 ^{ns}	6,2x6,4	0,01 ^{ns}	1,8x1,8	0,12 ^{ns}	2,9x3,0	1,13 ^{ns}	66,3x59,0
C4: T2 x T3	1	1,43 ^{ns}	6,8x7,7	0,01 ^{ns}	178,7x179,9	13,61**	5,8x6,7	0,40 ^{ns}	2,0x1,6	0,19 ^{ns}	2,8x3,0	59,76**	103,6x29,0
C5: T4 x T5	1	2,46 ^{ns}	6,6x7,8	1,09 ^{ns}	145,8x170,6	12,66**	5,9x6,8	1,91 ^{ns}	1,7x1,9	91,91**	5,2x0,9	52,80**	24,0x94,1
C6: T6 x T7	1	10,13**	4,9x7,4	0,03 ^{ns}	151,7x147,5	4,43*	6,6x7,1	0,44 ^{ns}	1,9x1,6	1,19 ^{ns}	1,7x1,3	44,71**	39,4x103,9
C7: T2,3,4,5 x T6	1	13,54**	7,2x4,9	0,83 ^{ns}	168,8x151,7	2,33 ^{ns}	6,3x6,6	1,44 ^{ns}	1,8x1,9	12,46**	3,0x1,7	9,35*	62,7x39,4
Resíduo	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

^{ns}Não-significativo. * e **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 4. Comparações múltiplas de médias de matéria seca total (g planta^{-1}) e teor de enxofre foliar (g kg^{-1}) entre os tratamentos⁽¹⁾.

Tratamento	MS total	S foliar
T1	14,33b	0,7b
T2	22,56a	1,3a
T3	24,87a	1,3a
T4	22,20a	1,3a
T5	24,16a	1,4a
T6	23,95a	0,9b
T7	25,57a	1,3a
CV %	10,1	14,2
DMS	21,00	0,3

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

diagnóstico esteve abaixo dos valores considerados adequados pela faixa de interpretação (2,1 a 4 g kg^{-1}), em plantas de soja na condição de campo (Malavolta et al., 1997) (Tabela 4), em razão do baixo teor de matéria orgânica, de S nativo do solo, e em razão das baixas doses de S usadas neste trabalho. O fornecimento de S⁰ foliar praticamente dobrou o teor foliar de S, que passou de 0,7 g kg^{-1} sem S, para 1,3 a 1,4 g kg^{-1} (Tabela 3), o que indica que a correção de deficiências pode ser conseguida pela aplicação suplementar às folhas.

Conclusões

1. O enxofre elementar aplicado às folhas é assimilado pela planta de soja, independentemente da dose e da natureza da fonte desse nutriente.

2. A aplicação foliar de enxofre elementar apresenta eficiência superior à aplicação feita ao solo.

Agradecimentos

Ao convênio Fealq/Intercuf Indústria e Comércio Ltda., pelo suporte técnico e financeiro.

Referências

BANZATTO, D.Z.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 3.ed. Jaboticabal: Funep, 1995. 247p.

BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; CRUZ, A.P.; DAGHLIAN, C. Absorção de fósforo e enxofre pelas folhas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Turrialba**, v.36, p.120-123, 1986.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, p.248-254, 1976.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja**: região Central do Brasil 2005. Londrina, 2004. 239p. (Embrapa Soja. Sistema de produção, 6).

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. 2.ed. Londrina: Planta, 2006. 403p.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, v.36, p.822-828, 2006.

JOLIVET, P.; BERGERON, E.; ZIMIERSKI, A.; MEUNIER, J.C. Metabolism of elemental sulphur and oxidation of sulphite by wheat and spinach chloroplasts. **Phytochemistry**, v.38, p.9-14, 1995.

LEGRIS-DELAPORTE, S.; FERRON, F.; LANDRY, J.; COSTES, C. Metabolization of elemental sulfur in wheat leaves consecutive to its foliar application. **Plant Physiology**, v.85, p.1026-1030, 1987.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E. **Nitrogênio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. São Paulo: Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio, 1982. 59p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

POMPEU, G.B. **Análise da resposta antioxidativa de células in vitro de fumo (*Nicotiana tabacum*) submetidas ao metal pesado níquel**. 2005. 97p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal: Funep, 1988. 37p.

VITTI, G.C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: MANLIO, S.F. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.299-325.

Recebido em 20 de julho de 2006 e aprovado em 24 de novembro de 2006