

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS
ISSN 0100-3453

Nutrição e fertilização com enxofre e uso de gesso em plantações de eucalipto

**José Henrique Tertulino Rocha
José Leonardo de Moraes Gonçalves
Tiago de Oliveira Godinho
Luiz Francisco da Silva Souza Filho**

CIRCULAR TÉCNICA



Nº 208 DEZEMBRO 2015

<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/>

Nutrição e fertilização com enxofre e uso de gesso em plantações de eucalipto

Nutrition and fertilization with sulfur and gypsum application in eucalypt stands

José Henrique Tertulino Rocha^{1*}, José Leonardo de Moraes Gonçalves²,
Tiago de Oliveira Godinho³, Luiz Francisco da Silva Souza Filho⁴

Resumo: Os estudos referentes à nutrição e fertilização com S em plantações florestais são muito recentes, ao contrário dos estudos relativos aos cultivos agrícolas. Em várias áreas plantadas com eucalipto no Brasil têm aumentado as ocorrências de deficiência deste nutriente. Este fato está relacionado à baixa fertilidade dos solos, ao uso de fertilizantes concentrados, sem ou com pouco S, ao aumento da produtividade e às sucessivas rotações de cultivo sem reposição adequada das quantidades exportadas deste nutriente. Este artigo apresenta uma síntese dos conhecimentos básicos sobre a dinâmica do S no solo e em plantações florestais, com especial destaque às de eucalipto, relaciona as principais fontes de S existentes no mercado, faz uma análise do potencial de resposta à aplicação de gesso em plantações de eucalipto estabelecidas em solos do cerrado e recomenda um método para o cálculo da quantidade a ser aplicada deste insumo.

Palavras-chave: Adubação, Gessagem, *Eucalyptus spp.*, Correção do solo

Abstract: Studies on the nutrition and fertilization with (S in forest plantations are very recent, unlike the studies relating to agricultural crops. In eucalyptus plantations in Brazil have increased occurrences of deficiency of this nutrient. This fact is related to low soil fertility, the use of fertilizer concentrates, with little or no S, increased productivity and the successive cultivation rotations without adequate replacement amounts of this nutrient exported. This article summarizes the basic knowledge about the dynamics of S in soil and forest plantations, with special emphasis on eucalyptus, lists the main S fertilizer on the market, analyzes the potential response to gypsum application in eucalyptus plantations established in Savana soils and recommends a method for calculating the amount to be applied to this product.

Keywords: Forest Plantation, Forestry practices, *Eucalyptus spp.*, Soil Correction

¹Doutorando do Departamento de Ciências Florestais. ESALQ – Escola Superior de Agrucultura “Luiz de Queiroz” / USP – Universidade de São Paulo - 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: rocha.jht@gmail.com

* Autor correspondente.

²Professor titular do Ciências Florestais. ESALQ – Escola Superior de Agrucultura “Luiz de Queiroz” / USP – Universidade de São Paulo - 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: jlmgonca@usp.br

³Doutor em Recursos Florestais. ESALQ – Escola Superior de Agrucultura “Luiz de Queiroz” / USP – Universidade de São Paulo. Pesquisador INCAPER, BR 101 Norte, km151, Caixa Postal 62 - 29915-140, Linhares, ES. E-mail: godinhoto@hotmail.com

⁴Pesquisador do Departamento de Solos-Bolsista de Pós-Doutorado da CAPES - Projeto A105/2013. UFV - Universidade Federal de Viçosa - 36570-900 - Viçosa, MG, Brasil. E-mail: efsouzafilho@gmail.com

INTRODUÇÃO

O S é o décimo elemento mais abundante no universo, e o mais abundante na crosta terrestre, que contém em média de 0,06 a 0,10 %. Ocorre naturalmente na forma de gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), na forma de pirita (FeS_2) em xistos, carvões, calcários e arenitos, na forma de S elementar em areias betuminosas, na forma de compostos salinos em formações sedimentares, e como parte do húmus do solo e marinho. O S é constituinte de todos os organismos vivos, sendo constituintes de aminoácidos, proteínas, alguns polissacarídeos, vitaminas e hormônios (HAVLIN et al., 2005; STEVENSON; COLE, 1999).

Apesar de sua essencialidade às plantas, o S é pouco estudado em comparação com os outros elementos, como o N, P e o K. Isso ocorre devido à baixa ou falta de resposta dos cultivos à aplicação desse nutriente via fertilizante. Essa informação contrasta, em muitos casos, com a grande quantidade de áreas que apresentam solos potencialmente deficientes em S, especialmente, os mais intemperizados, como os Latossolos e Argissolos, que ocupam áreas bem representativas no Brasil (ALVAREZ V. et al., 2007; STEVENSON; COLE, 1999).

Os sintomas de deficiência de S em plantações de eucalipto ficam cada vez mais comuns à medida que se usam genótipos de alta produtividade, fertilizantes NPK mais puros e concentrados (possuindo pouco ou nenhum S na sua constituição) e redução na emissão de gases à atmosfera (ALVAREZ V. et al., 2007; STEVENSON; COLE, 1999).

ENXOFRE NO SOLO

Embora a quantidade de S nos solos e na biomassa seja insignificante diante dos grandes reservatórios terrestres, a vida no planeta e a produção de alimentos dependem da ciclagem deste nutriente no sistema solo-planta. As interações e fluxos de S neste sistema são complexos, assim como suas interações com os demais reservatórios. As três principais fontes naturais de S para as plantas são: i) matéria orgânica; ii) minerais do solo; iii) gases de S na atmosfera. O S sofre diversas transformações no solo, conforme sumarizado na figura 1.

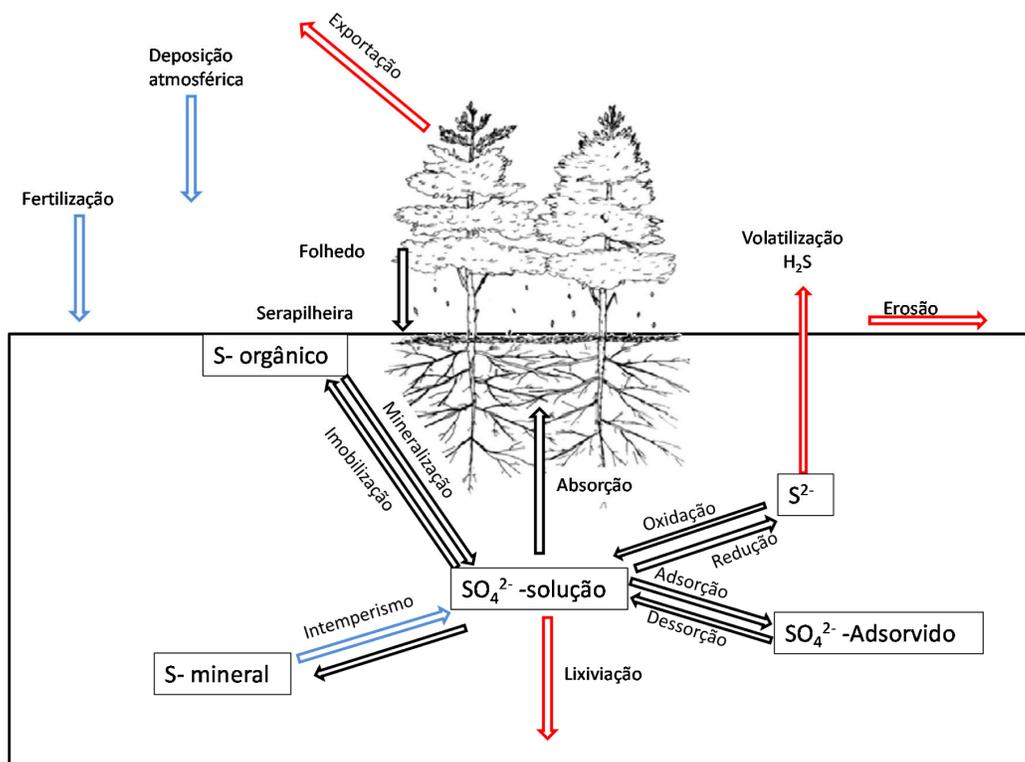


Figura 1. Ciclo do S em povoamentos florestais com, suas principais entradas (setas azuis), transformações (setas pretas) e saídas (setas vermelhas).

Mais de 90% do S da camada superficial do solo encontra-se na forma orgânica (S-orgânico), sendo essa a principal fonte de SO_4^{2-} para a solução do solo, conseqüentemente, para as plantas. O S-orgânico apresenta relação estreita com o C e o N do solo (Figura 2). A transformação do S orgânico para formas minerais se dá pelo processo de mineralização. A velocidade desse processo depende da atividade microbiana, que, por sua vez, depende da temperatura, umidade, aeração e pH do solo. A composição química dos resíduos vegetais também apresenta grande influência na velocidade de decomposição. Se resíduos orgânicos com relação C/S superior a 400/1 forem adicionados ao solo, pode ocorrer imobilização de S disponível no solo (BRADY; WEIL, 2013). A relação C/S da serapilheira em plantações de eucalipto pode variar de acordo com a idade do povoamento, material genético e manejo silvicultural. De modo geral, a serapilheira é pobre em S, apresentando alta relação C/S (700/1 a 2000/1), o que resulta em imobilização de S no início do processo de decomposição. As folhas apresentam relação C/S de aproximadamente 600/1 e, os galhos, 2500/1, desta forma a decomposição desses resíduos resulta na imobilização temporária desse elemento (ROCHA, 2014).

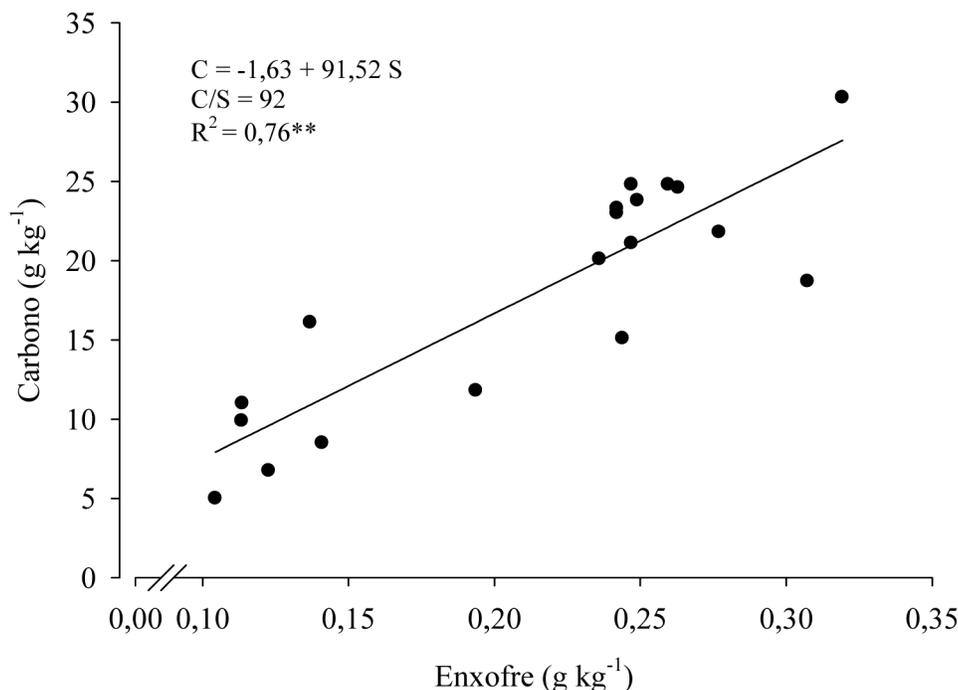


Figura 2. Relação entre o teor de C e o teor de S em dezenove Latossolos e um Neossolo Quartzarênico, com textura variando de arenosa a muito argilosa (KLIEMANN, 1987; LILIENTEIN et al., 2000).

As formas mais comuns de S-mineral são os sulfetos de metais (Fe, Mn, Pb, etc), que ocorrem em rochas ígneas. Os minerais de sulfatos são mais comuns em regiões de baixa precipitação, pois são muito solúveis e facilmente lixiviados. Esse S pode tornar-se disponível às plantas por meio do processo de intemperismo.

O S é absorvido pelas plantas na forma de SO_4^{2-} na solução do solo. Esta molécula encontra-se predominantemente adsorvida em partículas minerais e orgânicas do solo, mas também em combinações pouco solúveis com Fe e Al. Em solos muito intemperizados, o SO_4^{2-} se acumula em camadas subsuperficiais, região de maior incidência de cargas positivas. Nos solos bem aerados, o S mineral aparece quase que exclusivamente como SO_4^{2-} , ao passo que em condições anaeróbicas os sulfetos (S^{2-}) são a forma mais comum. A adsorção e a dessorção depende dos tipos e teores de argila, da presença de óxidos e/ou hidróxidos de Fe e Al, do teor de matéria orgânica, da profundidade do solo, do pH, da quantidade de SO_4^{2-} presente na solução do solo e da competição entre outros ânions. A adsorção do SO_4^{2-} pode ocorrer de duas formas: por interação de cargas ou adsorção eletrostática, quando o SO_4^{2-} interage com as cargas positivas provenientes da protonação de grupos -OH, e por compartilhamento de elétrons ou adsorção específica, quando o

SO_4^{2-} forma ligações covalentes com a superfície das argilas. O SO_4^{2-} adsorvido eletrostaticamente pode ser considerado prontamente disponível às plantas, enquanto o adsorvido de forma específica é menos disponível ou mesmo indisponível (MITCHELL et al., 1992; VITTI et al., 2006).

A redução do SO_4^{2-} é efetuada exclusivamente por bactérias anaeróbicas, que usam o sulfato no processo respiratório. A mineralização de S, principalmente em solos alagados (baixa presença de O_2), pode resultar na formação de sulfetos (S^{2-}). Esses podem ser perdidos para a atmosfera na forma de H_2S , SO_2 e outros gases de S por meio do processo de volatilização. A atmosfera contém quantidades variáveis de H_2S , SO_2 e outros gases de S, bem como partículas de poeira contendo esse elemento. A deposição atmosférica desse elemento pode variar de $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a valores superiores a $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo comumente relatados em trabalhos no Brasil, valores próximos a $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (GUEDES, 1985; WANG et al., 2004; OSÓRIO FILHO, 2007; RODRIGUES et al., 2007). As principais fontes de S para a atmosfera são as atividades vulcânicas, as queimadas e as indústrias (termelétricas e metalúrgicas). Em plantações de eucalipto, ao longo de rotações de cultivo de 6 a 8 anos, a deposição atmosférica de S em algumas regiões pode ser significativa.

O processo de oxidação do S é muito importante para a nutrição das plantas, pois os minerais do solo e alguns fertilizantes contêm S na forma reduzida. O S elementar, os sulfetos e o tio-sulfato podem ser oxidados por processos puramente químicos. A oxidação microbiológica envolve um número grande de bactéria e fungos, sendo de alta velocidade. Em alguns solos sujeitos a inundações temporárias ou encharcamento, pode ocorrer à formação de grandes quantidades de H_2S que pode reagir com o Fe, formando a Pirita (FeS_2). Se esses solos forem drenados, há oxidação do H_2S para H_2SO_4 , resultando em uma brusca redução no pH do solo (KLIEMANN, 1987).

O cultivo de solos virgens, por seus efeitos nas condições de aeração, umidade e temperatura do solo, conseqüentemente, na atividade microbiana, provoca redução no teor de matéria orgânica e de S orgânico. Com o decorrer do tempo há diminuição do teor de S total e orgânico no horizonte superficial e aumento de S em horizontes subsuperficiais pelo efeito da lixiviação (BISSANI; TEDESCO, 1988). Devido a todos esses processos, a disponibilidade de S nos solos é bastante variável. Em regiões pantanosas e muito industrializadas, seu teor pode ser muito elevado, por outro lado, em regiões tropicais, o teor de S pode ser muito baixo.

As plantações de eucalipto estão estabelecidas em regiões com solos muito intemperizados, em grande proporção, constituídos por Latossolos, Argissolos e Neossolos Quartzarênicos (GONÇALVES et al., 2013). Nesses tipos de solo Kliemann (1987) e Lilienfein et al. (2000) encontraram teores totais de S variando de $0,08$ a $0,32 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 1).

Tabela 1. Teores totais de C, N e S na camada até 20 cm, e suas relações em treze Latossolos de diferentes texturas e um Neossolo Quartzarênico

Solo ⁽¹⁾	Cidade – Estado ⁽²⁾	Textura			Teor Total			Relações			pH (água)
		Areia	Silte	Argila	C	N	S	C/N	C/S	N/S	
g kg ⁻¹											
Textura arenosa											
RQ	São Pedro - SP	891	28	81	8,5	0,80	0,14	10,6	60,3	5,7	5,0
LVA	Assis - SP	842	26	132	5,0	0,48	0,10	10,4	47,9	4,6	4,4
Média					6,8	0,64	0,12	10,5	54,1	5,1	4,7
Textura média											
LVA	Botucatu 1 - SP	812	24	164	11,8	0,92	0,19	12,8	60,9	4,7	4,7
LV	Anhembi - SP	779	50	171	9,9	0,64	0,11	15,5	87,3	5,6	5,4
LVA	Matão - SP	779	50	171	15,1	1,16	0,24	13,0	61,9	4,8	6,0
LVA	S. S. Paraíso 1 - MG	646	163	191	19,0	1,56	0,08	12,2	243,0	19,9	6,5
LVA	Pirassununga 1 - SP	746	30	224	11,0	0,62	0,11	17,7	96,8	5,5	5,6
LV	Pirassununga 2 - SP	663	44	293	7,9	0,68	0,22	11,6	35,4	3,0	5,2
Média					12,5	0,93	0,16	13,8	97,6	7,3	5,6
Textura argilosa											
LVA	S. S. Paraíso 2 - MG	408	238	354	16,1	1,30	0,14	12,4	117,6	9,5	5,4
LVA	Catalão - GO	309	150	541	24,8	1,50	0,26	16,5	95,5	5,8	4,1
LV	Botucatu 2 - SP	356	62	582	18,7	2,04	0,31	9,2	60,9	6,6	5,1
Média					19,9	1,61	0,23	12,7	91,3	7,3	4,9
Textura muito argilosa											
LVd	Rio Paranaíba - MG	224	174	602	30,3	1,64	0,32	18,5	94,9	5,1	5,1
LVd	Uberlândia - MG	-	-	680	24,8	1,42	0,25	17,5	100,4	5,7	4,7
LVd	Uberlândia - MG	-	-	720	21,8	1,38	0,28	15,8	78,7	5,0	5,9
LVd	Uberlândia - MG	-	-	820	23,0	1,35	0,24	17,0	95,0	5,6	4,9
Média					25,0	1,45	0,27	17,2	92,3	5,4	5,2
Média geral					16,5	1,17	0,20	14,1	89,1	6,5	5,2

⁽¹⁾ RQ – Neossolo Quartzarênico, LVA – Latossolo Vermelho Amarelo, LVA_d - Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, LV_d – Latossolo Vermelho distrófico; ⁽²⁾ Áreas de Uberlândia, adaptado de Lilienfein et al. (2000) e demais áreas adaptado de Kliemann (1987)

Na camada até 20 cm do solo, o conteúdo total de S foi de 362, 469, 553 e 596 kg ha⁻¹ nos solos de textura arenosa, média, argilosa e muito argilosa, respectivamente. Considerando que o potencial de mineralização de S seja proporcionalmente igual ao de mineralização de N (19, 14 e 13% em solos de textura arenosa, média e argilosa, Pulito et al., 2015), o estoque de S potencialmente mineralizável desses solos seria de 69, 66, 72, e 77 kg ha⁻¹. Se anualmente 1 a 3 % do S potencialmente mineralizável for mineralizado (MALAVOLTA, 1980), em uma rotação de cultivo de sete anos serão disponibilizados cerca de 5 a 14 kg ha⁻¹ de S em solos de textura média e arenosa e 5 a 16 kg ha⁻¹ de S em solos de textura argilosa e muito argilosa (Tabela 2).

Tabela 2. Estoque total de S, S potencialmente mineralizável (S_0) e taxa de mineralização anual de S na camada de 0 – 20 cm de solos caracterizados por Kliemann (1987) e Lilienfein et al. (2000)

Solo	Argila	S-total	S-total	$S_0^{(1)}$	S mineralizado ⁽²⁾			
	—g kg ⁻¹ —		—kg ha ⁻¹ —		kg ha ⁻¹ ano ⁻¹		kg ha ⁻¹ rotação ⁻¹	
Textura arenosa								
RQd	81	0,14	426,1	81,0	0,8 a	2,4	5,7 a	17,0
LVA _m	132	0,10	297,1	56,5	0,6 a	1,7	4,0 a	11,9
Média		0,12	361,6	68,7	0,7 a	2,1	4,8 a	14,4
Textura média								
LVA _m	164	0,19	536,5	75,1	0,8 a	2,3	5,3 a	15,8
LV _m	171	0,11	303,7	42,5	0,4 a	1,3	3,0 a	8,9
LVA _m	191	0,24	630,2	88,2	0,9 a	2,6	6,2 a	18,5
LVA _m	224	0,11	305,4	42,7	0,4 a	1,3	3,0 a	9,0
LV _m	293	0,22	567,8	79,5	0,8 a	2,4	5,6 a	16,7
Média		0,18	468,7	65,6	0,7 a	2,0	4,6 a	13,8
Textura argilosa								
LVA	354	0,14	316,5	41,1	0,4 a	1,2	2,9 a	8,6
LVA _d	541	0,26	600,2	78,0	0,8 a	2,3	5,5 a	16,4
LV	582	0,31	741,8	96,4	1,0 a	2,9	6,8 a	20,3
Média		0,23	552,8	71,9	0,7 a	2,2	5,0 a	15,1
Textura muito argilosa								
LV _d	602	0,32	736,9	95,8	1,0 a	2,9	6,7 a	20,1
LV _d	680	0,25	570,1	74,1	0,7 a	2,2	5,2 a	15,6
LV _d	720	0,28	639,3	83,1	0,8 a	2,5	5,8 a	17,5
LV _d	820	0,24	558,5	72,6	0,7 a	2,2	5,1 a	15,2
Média		0,27	626,2	81,4	0,8 a	2,4	5,7 a	17,1
Média geral		0,20	516,44	71,9	0,7 a	2,2	5,0 a	15,1

⁽¹⁾ Foi considerado que 19, 14 e 13 % do S total seja potencialmente mineralizável em solos de textura arenosa, média e argilosa, respectivamente (baseado no potencial de mineralização de N, Pulito et al., 2015); ⁽²⁾ Foi considerado que 1 a 3 % do S_0 é mineralizado ao ano, e rotações de cultivo de sete anos.

ENXOFRE NA PLANTA

Absorção, Transporte e Redistribuição

O transporte de sulfato até a raiz (contato íon raiz) se faz, principalmente, por fluxo em massa (VITTI et al. 2006). O íon SO_4^{2-} é a principal forma de S absorvida pelas plantas (SALISBURY; ROSS, 1992; MALAVOLTA et al., 1997). A absorção é um processo ativo, dependente de consumo de energia (CRAM, 1990) e com participação de transportadores de SO_4^{2-} em diferentes tipos de células (HERSCHBACH; RENNENBERG, 2001). As folhas das plantas podem absorver SO_2 atmosférico por difusão gasosa, mas em pequenas quantidades. A absorção e a translocação de SO_4^{2-} no xilema são processos independentes mediados por diferentes sistemas de transporte (ALVAREZ V. et al., 2007). A translocação de SO_4^{2-} pode ocorrer via xilema ou via floema, podendo redistribuir-se entre essas vias (LARSSON et al., 1991). Contudo, a entrada de SO_4^{2-} no floema é restrita. Por esse motivo, mesmo sob deficiência de S, há baixa mobilidade na planta (CLARKSON et al., 1983; MALAVOLTA et al., 1997).

Compostos com S reduzido podem ser translocados em direção às folhas em crescimento ou em direção aos galhos, caule ou raízes. Em muitos aspectos, a assimilação de S é semelhante à do NO_3^- . Por exemplo, a redução é necessária para a incorporação de S aos aminoácidos, proteínas e coenzimas. Nas folhas verdes, a ferredoxina é o agente redutor para o S. Entretanto, ao contrário do NO_3^- , o SO_4^{2-} pode ser utilizado sem o processo de redução e incorporado a estruturas orgânicas essenciais, como os sulfolipídios nas membranas, ou polissacarídeos, como o Agar (VITTI et al., 2006). As raízes são amplamente dependentes da translocação via floema para

a aquisição de aminoácidos que contêm S (HERSCHBACH; RENNENBERG, 1995; HARTMANN et al. 2000). A transferência de SO_4^{2-} e de compostos com S reduzido entre o xilema e o floema é fundamental para a translocação e redistribuição de S. A principal forma de S reduzido translocada via floema é a glutatona (GARSED; READ, 1997; HERSCHBACH; RENNENBERG, 2001).

Funções

Na planta, o S encontra-se em sua maior parte, nas proteínas. O S está intimamente ligado ao metabolismo do N, convertendo-o de N não proteico em proteína. Portanto utiliza-se a relação N/S do vegetal para avaliar o seu estado nutricional (BORKERT; LANTMANN, 1988). As leguminosas, por possuírem alto teor de proteínas, exigem grandes quantidades de S para o seu desenvolvimento. Nestas plantas, o S é essencial à formação e desenvolvimento de nódulos e no processo de fixação de N_2 (VITTI; NOVAES, 1986).

O S participa de importantes compostos e de substâncias que conferem qualidade aos produtos, além de atuar em importantes processos do metabolismo de proteínas e em reações enzimáticas: i) síntese de três aminoácidos essenciais (cistina, cisteína e metionina), que são a base das proteínas e que perfazem mais de 90% do S contido na planta; ii) ativação de enzimas proteolíticas; iii) síntese de vitaminas (biotina, tiamina, vitamina B1 e glutamina); iv) formação de lipídios glicosídeos; v) formação de ligações dissulfídicas, que conferem resistência ao frio; vi) síntese da clorofila e formação da ferredoxina, que funciona como transportador de elétrons na fotossíntese; vii) fixação simbiótica de N e ativação das enzimas ATP-sulfurilase e APS-sulfotransferase envolvidas no metabolismo de S na planta (MARSCHNER, 1995).

Interações

O equilíbrio entre os nutrientes merece atenção nos programas de fertilização, visto que a utilização de fertilizantes concentrados com elevados teores de P e/ou de N podem provocar a deficiência de S, quando seu teor nos solos é baixo (MARTINS; KAMINSKI, 1997; UCHÔA, 1999). Fornecendo apenas S a um solo com deficiência em P, a resposta das culturas pode até ser negativa. O excesso de S pode também comprometer algumas vias metabólicas na ausência de P. A adição conjunta de N e S pode resultar em interação sinérgica entre esses dois nutrientes. Essa interação parece ocorrer, inicialmente, na absorção e na translocação, pois, geralmente, a maior disponibilidade de N contribui para elevar o teor de S na parte aérea da planta (BARNEY JR.; BUSH, 1985; FERREIRA, 1986).

Deficiência

A deficiência em S ocorre, frequentemente, em solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica, principalmente, para as culturas mais exigentes neste nutriente, como as leguminosas, oleaginosas e crucíferas (ALVAREZ V. et al., 2007). Na região do cerrado, com déficit hídrico acentuado, o uso contínuo de fórmulas concentradas de fertilizantes, associado às rotações de cultivo sequenciais e ao alto potencial produtivo das plantações de eucalipto, pode resultar em respostas à aplicação de S, mesmo em solos muito argilosos, manejados no sistema de cultivo mínimo.

A deficiência de S em florestas de países industriais é muito rara, pois o dióxido de S (SO_2), liberado ao queimar o carvão, a madeira, a gasolina e outros combustíveis fósseis, é absorvido do ar pelas folhas por meio dos estômatos. O SO_2 se converte em bissulfeto (HSO_3^-), quando reage com a água nas células. Se acumular nesta forma, inibe a fotossíntese, destruindo os cloroplastos (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Os teores foliares adequados de S (faixa de suficiência) para o eucalipto é de 0,5 a 1,5 g kg^{-1} em folhas recém-maduras, coletadas em cada ponto cardeal do terço superior da copa, em períodos de boa disponibilidade hídrica e térmica (GONÇALVES, 2011). Os sintomas visuais de deficiência de S são semelhantes àqueles relacionados com a carência de N, diferenciando-se, pelo fato de ocorrerem primeiro nas folhas novas. Em geral, a falta de S leva à coloração verde-clara

das folhas novas, incluindo as nervuras. Em leguminosas, a carência de S resulta em menos nodulação das raízes. Algumas espécies vegetais manifestam a deficiência de S, em folhas pequenas, com o enrolamento das margens e redução do florescimento (MALAVOLTA et al., 1997). Nas figuras 3 e 4 observa-se a deficiência de S em eucalipto.



Figura 3. Sintomas visuais de deficiência de S em plantações de *Eucalyptus grandis*.

Comumente, a identificação da deficiência de S pode ser dificultada pela presença de sintomas semelhantes a de outros nutrientes e/ou pela ocorrência de carências múltiplas. A diagnose foliar é um ferramenta eficiente para detectar problemas relacionados com carência, excessos ou desequilíbrios nutricionais (MALAVOLTA et al., 1997). Os resultados da análise química de amostras de folhas permitem complementar as informações obtidas pela diagnose visual e análise de solo, o que resulta em maior precisão na recomendação de adubação para a cultura.

CICLO DO S EM PLANTAÇÃO DE EUCALIPTO

No ecossistema florestal, o solo é o principal reservatório de S, armazenando cerca de 300 a 750 kg ha⁻¹, estando predominantemente (mais de 90%) na forma orgânica. Dessas quantias apenas 10 a 20 % são decomponíveis e disponíveis as árvores. Ao contrário dos demais macronutrientes, a concentração de S varia relativamente pouco entre os órgãos aéreos de árvores de eucalipto. A folha é o órgão com maior concentração, apresentando, aproximadamente, entre 0,5 e 1,5 g kg⁻¹ de S. Nos galhos, casca e lenho, a concentração de S varia entre 0,2 e 0,7 g kg⁻¹. A concentração de S diminui pouco com a idade do povoamento (ROCHA, 2014). Com isso, o acúmulo de S na parte aérea é proporcional ao acúmulo de biomassa. Em decorrência da pequena diferença na concentração de S entre os órgãos das árvores, a maior parte (mais de 80%) do S acumulado na parte aérea está contida no lenho. Plantações de eucalipto de 7 a 9 anos acumulam em média entre 13,8 e 33,1 kg ha⁻¹ de S em sua biomassa aérea (GONÇALVES et al., 2000; NEVES, 2000, Tabela 3).

Tabela 3. Acumulo de biomassa e nutrientes em povoamentos clonais e seminais de *Eucalyptus*

Compartimento	Massa Mg ha ⁻¹	Nutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	S
		kg ha ⁻¹					
Plantio seminal de <i>Eucalyptus grandis</i> ⁽¹⁾							
Folha	3,2	57,3	5,1	20,9	25,0	8,6	2,5
Galho	3,1	15,5	2,5	8,1	17,7	3,1	1,1
Casca	8,9	35,7	11,8	47,4	95,0	14,9	3,2
Lenho	125,1	223,9	18,8	106,3	110,1	16,3	26,3
Total PA	140,3	332,4	38,2	182,7	247,8	42,9	33,1
Raiz grossa (>3mm)	20,6	75,2	2,7	28,2	21,0	6,4	3,1
Raiz fina (<3mm)	3,6	22,4	1,2	1,0	11,9	3,1	-
Serapilheira	23,7	187,2	9,5	35,5	208,6	23,7	13,0
Total	188,2	617,2	51,6	247,4	489,3	76,1	49,2
Amplitude de 8 clones de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> ⁽²⁾							
Folha	1,7 a 2,6	33,3 a 55,3	2,2 a 3,4	15,9 a 21,7	9,5 a 21,9	4,8 a 8,3	1,0 a 1,7
Galho	3,2 a 8,1	14,0 a 35,6	1,4 a 4,3	19,0 a 41,4	27,6 a 76,2	4,2 a 16,1	0,5 a 1,3
Casca	12,1 a 21,0	36,5 a 70,9	3,4 a 9,3	36,5 a 70,9	387,8 a 891,8	25,2 a 46,2	1,8 a 3,7
Lenho	142,8 a 196,3	116,3 a 151,2	4,7 a 16,4	42,5 a 75,6	99,9 a 276,3	13,0 a 21,6	10,5 a 17,4
Total PA	159,8 a 225,3	200,1 a 313,0	11,7 a 33,4	113,9 a 209,3	524,8 a 1266,2	47,2 a 97,2	13,8 a 24,1
Raiz grossa (>5mm)	16,5 a 20,5	36,4 a 58,4	1,7 a 4,1	13,2 a 23,7	24,6 a 90,7	2,4 a 6,6	1,3 a 2,9
Raiz média (2 a 5 mm)	2,3 a 5,7	8,0 a 14,9	0,3 a 1,3	2,4 a 4,9	4,1 a 16,3	0,4 a 1,6	0,3 a 0,7
Raiz fina (<2mm)	0,8 a 2,5	3,1 a 10,2	0,2 a 0,8	1,2 a 4,6	6,2 a 16,6	0,5 a 1,7	0,2 a 0,6
Serapilheira	5,1 a 19,8	26,5 a 132,7	1,3 a 6,5	3,5 a 15,5	48,7 a 281,6	6,2 a 37,2	1,2 a 6,0
Total	184,4 a 273,8	274,1 a 529,2	15,3 a 46,2	134,2 a 258,0	608,4 a 1671,4	56,8 a 139,3	16,8 a 34,3

⁽¹⁾ Plantio de 7 anos de idade e incremento médio anual (IMA) de 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ – Adaptado de Gonçalves et al. (2000); ⁽²⁾ Povoamentos de 8,4 a 9,2 anos de idade e IMA entre 41 e 47 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ - Adaptado de Neves (2000).

A maior parte do S é ciclado biogeoquimicamente. Assim, sua ciclagem depende da deposição de tecidos senescentes sobre o solo e mineralização desses por microrganismos. A quantidade de S depositado sobre o solo em povoamentos de *Eucalyptus grandis* com 8 anos de idade variou entre 8 e 15 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Esses valores são relativamente bem significativos, pois a quantidade de S acumulada na parte aérea desse mesmo povoamento nesta idade foi cerca de 40 kg ha⁻¹ (GONÇALVES et al., 2000).

O S é considerado pouco móvel nas plantas. Em plantações de *Eucalyptus grandis*, Silva (2006) observou que a taxa de retranslocação de S variou entre 20 e 50%, dependendo da idade do povoamento e da época do ano. Quanto maior a idade do povoamento, menor foi a taxa de retranslocação desse nutriente. Devido a essa baixa mobilidade do S nas árvores, a serapilheira torna-se um importante componente da ciclagem desse nutriente. Neste compartimento está contido entre 2 e 13 kg ha⁻¹ de S (GONÇALVES et al., 2000).

A decomposição desse resíduo florestal depende de fatores edáficos, climáticos e de sua composição química. A serapilheira de plantações de eucalipto é muito pobre em nutrientes, sendo de difícil decomposição. Sua relação C/S varia entre 700/1 e 2000/1 (ROCHA, 2014). Sabendo-se que há imobilização de S em compostos com relação C/S entre 200/1 e 400/1 (ALVAREZ V. et al., 2007), se a serapilheira do eucalipto for incorporada ao solo há aceleração do processo de mineralização, com substancial imobilização de S. Esse fato foi constatado por Rocha (2014)

Como visto na tabela 2, a mineralização de S do solo pode variar entre 3 e 20 kg ha⁻¹ em uma rotação de cultivo (7 anos), dependendo do teor de matéria orgânica do solo, outros atributos do solo, e condições climáticas. Somando esses valores aos de deposição atmosférica, dependendo da região, podem ser superiores ao demandado pelo eucalipto. Em regiões próximas a zonas industriais ou próximas ao litoral, frequentemente, apenas a deposição atmosférica é superior à demanda das árvores. Em regiões distantes a zonas industriais, sobretudo, naquelas com moderado a alto déficit hídrico, com solos contendo baixos teores de matéria orgânica, deve-se, preventivamente, fornecer S via fertilização.

FONTES DE S

Os principais fertilizantes contendo S o contêm na forma de sulfato, que é prontamente disponível às plantas. Dentre os fertilizantes minerais destacam-se o sulfato de amônio, o superfosfato simples, o sulfato de potássio e o gesso agrícola (Tabela 4). Outra fonte importante de S é o S elementar, que contém aproximadamente 98%. Por estar na forma elementar, o S deve ser primeiramente oxidado, antes de ficar em condições de ser absorvido pelas plantas. Por isso, a disponibilização de S por esta fonte é lenta, podendo ser vantajoso para culturas perenes. Além dos fertilizantes minerais, o S pode ser fornecido na forma de resíduos orgânicos (ALVAREZ V. et al., 2007; CANTARELLA; MONTEZANO, 2010). A utilização de gesso como enchimento de adubo NPK aumenta seu valor nutricional, constituindo-se também em fonte de S e Ca.

Tabela 4. Teor de macronutrientes nos principais fertilizantes e corretivos que contêm S

Fertilizante	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
	%					
Fertilizantes Minerais⁽¹⁾						
Sulfato de amônio	20					22
Superfosfato simples		18		16		8
Gesso				16		13
Sulfato de potássio			48			15
Sulfato duplo de K e Mg			20		10	20
Sulfato de magnésio					9	11
Enxofre elementar						95
Fertilizantes Orgânicos⁽²⁾						
Esterco galinha	3,0	4,8	2,4	5,1	1,1	0,4
Esterco Suíno	2,8	4,1	2,9	3,5	1,3	0,6
Esterco Bovino	1,6	1,6	1,8	0,5	0,3	0,3

⁽¹⁾Brasil (2007); ⁽²⁾Trani e Trani (2011)

Se na fertilização de base for usado superfosfato simples como fonte de P e/ou na fertilização de cobertura for usado sulfato de amônio como fonte de N, a demanda de S das árvores já estará atendida. Há no mercado fertilizantes que possuem seus grânulos recobertos por S elementar, sendo comumente a ureia, o MAP e o superfosfato triplo, os quais podem ser fontes alternativas para o suprimento deste nutriente às plantações.

APLICAÇÃO DE GESSO EM SOLOS DO CERRADO

A maioria dos solos brasileiros, em especial os solos do cerrado, apresentam baixos teores de Ca e S e alta saturação por Al nas camadas subsuperficiais. Para a maioria das culturas agrícolas, essas características prejudicam o desenvolvimento do sistema radicular, reduzindo a tolerância ao déficit hídrico. Nesses solos são relatados na literatura inúmeros benefícios da aplicação de gesso em áreas agrícolas (VAN RAIJ 2008; SOUSA et al., 2005; ERNANI et al., 2001; CAIRES et al., 1999). Em geral, os benefícios mais comuns são: i) redução da toxidez do alumínio em subsuperfície, promovendo o aprofundamento do sistema radicular; ii) fornecimento de Ca e S às plantas; iii) carreamento de bases para as camadas mais profundas do solo; iv) floculação da argila, promovendo melhoria das características físicas do solo.

Desses benefícios, os potencialmente mais relevantes para plantações de eucalipto são: i) fornecimento de Ca e S às árvores; ii) carreamento de bases para camadas subsuperficiais do solo. A diminuição da toxidez causada pelo Al para o eucalipto é pouco relevante, pois este apresenta bom desenvolvimento radicular, mesmo em condições de alta saturação de Al em subsuperfície.

A recomendação da quantidade de gesso a ser aplicada depende de qual objetivo se quer alcançar com o uso deste produto. Como os solos do cerrado apresentam baixa disponibilidade de Ca, o carreamento desse nutriente para camadas subsuperficiais (abaixo de 30 cm), pode promover estímulo ao desenvolvimento radicular. Conseqüentemente, espera-se que as plantações de eucalipto fiquem mais eficientes em absorver água e nutrientes, aumentando a produtividade, especialmente em regiões com elevado déficit hídrico. Esse efeito tem sido verificado no norte de Minas Gerais.

Recomenda-se a aplicação de gesso se ocorrer conjuntamente as seguintes situações:

- Plantações estabelecidas na região do cerrado;
- Região que apresenta alta limitação hídrica;
- Solo com teor de Ca em camadas mais profundas que 30 cm inferior a $4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$;

A quantidade de gesso a ser aplicada poderá ser calculada por meio da equação:

$$NG(\text{kg ha}^{-1}) = \frac{(4 - Ca_s) \times 20 \times \text{Prof.} \times 10}{Ca_g}$$

Em que:

NG – É a necessidade de gesso em kg ha^{-1} ;

4 – Corresponde ao teor desejado de Ca em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo, para um bom desenvolvimento do sistema radicular em subsuperfície;

Ca_s – É o teor de Ca em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 20-40cm do solo. Foi considerada essa camada para facilitar as coletas de campo. Por meio dela se infere a necessidade de aplicação de gesso em camadas subjacentes;

20 - massa de Ca (kg ha^{-1}) necessária para aumentar em $1 \text{ mmol}_c \text{ Ca}$ cada 1 dm de solo;

Prof. – espessura (em cm) da camada que se pretende aumentar o teor de Ca. Recomenda-se 30 cm; Ca_g – É o percentual de Ca no gesso.

A quantidade de gesso a aplicar, estimada por esta equação, é suficiente para elevar a $4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ o teor de Ca da camada de solo desejada, sendo recomendado 30 cm. A aplicação do gesso não substitui a calagem, pois esta tem como objetivo elevar os teores de Ca e Mg em superfície (0-20cm). Se for aplicada uma dose de gesso igual ou superior a 300 kg ha^{-1} espera-se que a demanda de S pelas plantas seja plenamente atendida.

Exemplo:

Considerando uma área na região do cerrado, que apresenta alto déficit hídrico e $2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca na camada de 20-40 cm, a quantidade de gesso (18% de Ca) a ser aplicada será:

$$NG = \frac{(4 - 2) \times 20 \times 30 \times 10}{18} \rightarrow NG \cong 670 \text{ kg ha}^{-1}$$

A aplicação do gesso pode ser feita em faixa ou em área total, não havendo necessidade de incorporação, devido à alta mobilidade deste produto no solo. O gesso pode ser aplicado misturado ao calcário, o que diminui o número de operações, consequentemente, os custos de aplicação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ciclo do S é bastante dinâmico. Suas reações no solo são predominantemente regidas pelos processos de mineralização e imobilização, pois este elemento ocorre majoritariamente em formas orgânicas. O solo é seu principal reservatório, cuja dimensão depende da velocidade da ciclagem dos nutrientes e da deposição atmosférica. Esta, por sua vez, depende da localização das áreas florestais em relação às regiões emissoras de S para atmosfera (oceanos, indústrias e atividades vulcânicas). Devido à redução na emissão de gases contendo S por parte das indústrias, à utilização de fontes concentradas de fertilizantes NPK e ao uso de genótipos muito produtivos em várias rotações consecutivas, faz-se necessário atentar para o aumento da probabilidade de deficiências de S, sobretudo na região do cerrado. A aplicação de gesso apresenta-se como uma prática com alto potencial responsivo, pois aumenta a disponibilidade de S e Ca, e pode aumentar o desenvolvimento do sistema radicular em camadas subsuperficiais do solo, contribuindo para que as árvores fiquem mais tolerantes à deficiência hídrica.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ V., V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 595-644.
- BARNEY JR., P. E.; BUSH, L. P. Interaction of nitrate and sulfate reduction in tobacco. I. Influence of availability of nitrate and sulfate. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 8, n. 6, p. 505-515. 1985
- BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. J. O enxofre no solo. In: BORKERT, C. M.; LANTMANN, A. F. (Eds.) REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 17, 1988, Londrina. **Anais...** Londrina: EMBRAPA/IAPAR/SBCS, 1988. p. 11-29.
- BORKERT, C. M.; LANTMANN, A. F. (Eds.) REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 17, 1988, Londrina. **Anais...** Londrina: EMBRAPA/IAPAR/SBCS, 1988. 318 p.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 716 p.
- BRASIL. **Instrução Normativa nº 5 de 23/02/07**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). 2007.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 315-327, 1999.
- CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e enxofre. In: PROCHNOW, L. I.; STIPP, S. R. (Eds.) **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. 1.ed. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010, p. 1-65.
- CLARKSON, D. T.; SMITH, F. W.; VAN DER BERG, P. J. Regulation of sulfate transport in a tropical legume, *Macroptilium atropurpureum*, cv. Siratro. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 34, n. 11, p. 1463-1483, 1983.
- CRAM, W. J. Uptake and transport of sulfate. In: RENNENBERG, H.; BRUNOLD, C.; KOK, L. J.; STULEN, I. (Eds.) **Sulfur nutrition and sulfur assimilation in higher plants: Fundamental, environmental and agricultural aspects**. The Hague: SPB Academic, 1990, p. 3-11.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 91-132.

- ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 825-831. 2001.
- FERREIRA, F. A. S. **A interação nitrato, fosfato e sulfato na absorção de fosfato e de sulfato no crescimento de eucalipto e no seu metabolismo de nitrato e sulfato**. 1986. 95 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.
- GARSED, S. G.; READ, D. J. Sulfur dioxide metabolism in soybean, *Glycine max* var. Beloxi – II: biochemical distribution of $^{35}\text{SO}_2$ products. **New Phytologist**, Oxford, v. 79, n. 3, p. 583-592. 1977.
- GONÇALVES, J. L. D.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. D.; LIMA, W. D. P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J. P. D.; LACLAU, J. P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 6-27. 2013.
- GONÇALVES, J. L. M. Fertilização de plantações de eucalipto. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 2., 2011, Campinas. **Anais...** Piracicaba: PTSM/IPEF/ESALQ/FUPEF, 2011, p. 87-113.
- GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.) **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 1-58.
- GUEDES, R. M. M. **Enxofre e nitrogênio na água da chuva e enxofre atmosférico na região metropolitana de Porto Alegre (RS), Brasil**. 1985. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1985.
- HARTMANN, T.; MULT, S.; SUTER, M.; RENNENBERG, H.; HERSCHBACH, C. Leaf age-dependent differences in sulfur assimilation and allocation in poplar (*Populus tremula* x *P. alba*) leaves. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, n. 347, p. 1077-1088. 2000.
- HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management**. 7.ed. New Jersey: Prentice Hall, 2005. 528 p.
- HERSCHBACH, C.; RENNENBERG, H. Long-distance transport of ^{35}S -sulphur in 3-year-old beech trees (*Fagus sylvatica*). **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 95, n. 3, p. 379-386. 1995.
- HERSCHBACH, C.; RENNENBERG, H. Sulfur nutrition of deciduous trees. **Naturwissenschaften**, v. 88, n. 1, p. 25-36. 2001.
- KLIEMANN, J. K. C. **Contribuição ao estudo da disponibilidade de enxofre em solos brasileiros**. 1987. 85 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.
- LARSSON, C. M.; LARSSON, M.; PURVES, J. V.; CLARKSON, D. T. Translocation and cycling through roots of recently absorbed nitrogen and sulfur in wheat (*Triticum aestivum*) during vegetative and generative growth. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 82, n. 3, p. 345-352. 1991.
- LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; AYARZA, M. A.; VILELA, L.; LIMA, S. C.; ZECH, W. Chemical fractionation of phosphorus, sulphur, and molybdenum in Brazilian savannah Oxisols under diferente land use. **Geoderma**, Amsterdam, v. 96, p. 31-46. 2000.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres; 1980. 186 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. New York: Academic Press; 1995. 889 p.
- MARTINS, J. R.; KAMINSKI, J. Estudo da interação entre fósforo e enxofre em capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq. cv K 249) cultivado em solos do noroeste do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBSC/EMBRAPA, 1997.
- MITCHELL, M. J.; DAVID, M. B.; HARRISON, R. B. Sulphur dynamics of forest ecosystems. In: HOWARTH, R. W.; STEWART, J. W. B.; IVANOV, M. V. (Eds.) **Sulphur Cycling on the Continents**. New York: Wiley, 1992. p. 215-260.
- NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantações clonais de Eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. 2000. 191 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2000.
- OSÓRIO FILHO, B. D.; RHEINHEIMER, D. S.; SILVA, L. S.; KAMINSKI, J.; DIAS, G. F. Deposição do enxofre atmosférico no solo pelas precipitações pluviais e respostas de culturas à adubação sulfatada em sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 712-719. 2007.

- PULITO, A.; GONÇALVES, J. H. T.; SMETHURST, P.; ARTHUR JR., J.; ALVARES, C. A.; ROCHA, J. H. T.; HÜBNER, A.; MORAES, L. F.; MIRANDA, A.; KAMOGAWA, M.; GAVA, J. L.; CHAVES, R.; SILVA, C. Available Nitrogen and Responses to Nitrogen Fertilizer in Brazilian Eucalypt Plantations on Soils of Contrasting Texture. **Forests**, v. 6, n. 4, p. 973-991, 2015.
- ROCHA, J. H. T. **Reflexos do manejo de resíduos florestais na produtividade, nutrição e fertilidade do solo em plantações de *Eucalyptus grandis***. 2014. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.
- RODRIGUES, R. A. R.; MELLO, W. Z.; SOUZA, P. A. Aporte atmosférico de amônio, nitrato e sulfato em área de floresta ombrófila densa montana na Serra dos Órgãos, RJ. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 8, p. 1842-1848. 2007.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 4.ed. Wadsworth: Belmont, 1992. 682 p.
- SILVA, P. H. M. **Produção de madeira, ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo em plantações de *Eucalyptus grandis*, após aplicação de lodo de esgoto**. 2006. 117 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso de Gesso Agrícola nos Solos do Cerrado**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2005. 19 p. (Circular Técnica, 32).
- STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. **Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. 448 p.
- TRANI, P. E.; TRANI, A. L. **Fertilizantes: Cálculo de Fórmulas Comerciais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2011. 29 p.
- UCHÔA, S. C. P. **Dinâmica de formas lábeis e não lábeis de enxofre no solo**. 1999. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- VAN RAIJ, B. **Gesso na Agricultura**. Campinas: Instituto agronômico, 2008.
- VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p.299-326.
- VITTI, G. C.; NOVAES, N. J. Adubação com enxofre. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS, 1., 1985, Nova Odessa. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS; 1986. p. 191-231.
- WANG, T. J.; HU, Z. Y.; XIE, M.; ZHANG, Y.; CHAO, Z. H. Atmospheric sulfur deposition onto different ecosystems over China. **Environmental Geochemistry and Health**. v. 26, n. 2, p. 169-177. 2004.

COMISSÃO EDITORIAL

Editor Chefe

Prof. Dr. Walter de Paula Lima
Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil

Conselho Editorial

Dr. Arno Brune – APSD Ghana, Adum Kumasi, Republica de Ghana
Dr. Dário Grattapaglia – EMBRAPA, Cenargen, Brasília, DF, Brasil
Prof. Dr. José Luiz Stape – North Caroline State University, Raleigh, USA
Dr. Niro Higuchi – INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brasil

Editor de Inglês / English Editor

Dr. Arno Brune – APSD Ghana, Adum Kumasi, Republica de Ghana

Editora Executiva

Kizzy França
Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, SP, Brasil

Editoração e Diagramação

Luiz Erivelto de Oliveira Júnior
Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, SP, Brasil

Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF)

Germano Aguiar Vieira (Eldorado Brasil) - Presidente
Aguinaldo José de Souza (Suzano Papel e Celulose S.A.) - Vice-Presidente

Empresas Associadas Mantenedoras / Partners

- » Arauco Florestal Arapoti S.A.
- » Arborgen Tecnologia Florestal Ltda
- » Aperam BioEnergia Ltda
- » ArcelorMittal BioFlorestas Ltda
- » Brasilwood Reflorestamento S.A.
- » Celulose Nipo-Brasileira S/A - CENIBRA
- » CMPC Celulose Riograndense
- » Copener Florestal Ltda
- » Duratex S/A
- » Eldorado Brasil
- » Eucatex S/A Indústria e Comércio
- » Fibria Celulose S/A
- » Forestal Oriental
- » Gerdau S.A.
- » International Paper do Brasil Ltda
- » Jari Celulose, Papel e Embalagens S.A.
- » Klabin S/A
- » Lwarcel Celulose Ltda
- » Montes Del Plata S.A.
- » Ramires Reflortec S.A.
- » Rigesa Celulose, Papel e Embalagens Ltda
- » Stora Enso Florestal RS Ltda
- » Suzano Papel e Celulose S.A.
- » Vallourec Florestal Ltda
- » Veracel Celulose S/A



INSTITUTO DE PESQUISAS
E ESTUDOS FLORESTAIS