

## Enxofre

Nº 4

### EDIÇÃO EM PORTUGUÊS



FOTO IPNI SHARMA E KUMAR

Planta de milho deficiente em enxofre.

Na produção agrícola, o enxofre (S) é usado pelas plantas em quantidades suficientes para ser considerado o quarto nutriente mais requerido depois dos três macronutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). O S é encontrado naturalmente em depósitos próximos a vulcões e em vários depósitos do minério sulfureto. A principal fonte industrial vem da remoção do gás sulfeto de hidrogênio (HS) durante o processamento de combustível fóssil.

A adubação com S é cada vez mais comum devido às maiores exportações advindas de crescentes produtividades das culturas, que estão absorvendo e extraindo mais S do solo. Em decorrência da diminuição das emissões de S de fontes industriais e de transportes, a deposição deste nutriente a partir da atmosfera é muito mais baixa do que há algumas décadas. A manutenção de fornecimento adequado de S é essencial para sustentar culturas altamente produtivas, assim como para a nutrição animal e humana.

### Enxofre nas plantas

O sulfato solúvel ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) é a fonte primária de nutrição de S para as plantas. Dentro da planta, o S é exigido para a síntese de proteínas. Esse nutriente auxilia na produção de sementes e da clorofila necessária para que as plantas realizem a fotossíntese. É um componente necessário de três aminoácidos (cisteína, metionina e cistina) requeridos para a síntese proteica. Também é exigido para a formação de nódulos nos pelos radiculares de leguminosas. Quando o trigo é cultivado em solos com baixos níveis de S disponível, isto resulta em qualidade mais baixa da proteína do grão, o que torna a farinha menos adequada para a produção de pães e massas.

Tanto S como N são necessários para a formação de proteínas e estão intimamente ligados. As culturas têm necessidades variadas de S em comparação com N e os produtos colhidos têm uma ampla gama de relações N:S nos produtos colhidos (**Tabela 1**). Por exemplo, o trigo tem necessidade relativamente baixa de S, com relação N:S de 16:1 nos grãos, ao passo que a canola apresenta alta necessidade de S, com relação N:S de 6:1 nas sementes.

O S está envolvido em uma série de compostos secundários nas plantas. Por exemplo, o sabor e o aroma característicos da cebola e do alho estão associados a compostos voláteis de S.

**Tabela 1.** Quantidade de enxofre (S) exportada por diferentes culturas em comparação com as exportações de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$ .

Cultura	Para produtividade de (t/ha)	Quantidade exportada (kg/ha)				Relação N:S
		N	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$	S	
Alfafa	8	208 <sup>1</sup>	48	200	21,6	10:1
Canola	3	96	48	24	15	6:1
Cevadilha	5	80	25	115	12,5	6:1
Gramma Bermuda	8	184	48	200	16	12:1
Milho	10	120	63	45	14	8:1
Soja	3	165 <sup>1</sup>	36	60	9,0	18:1
Trigo	3	57	24	14,5	5,1	11:1

<sup>1</sup>Predominantemente, N é fixado via simbiótica por bactérias do gênero *Rhizobium* em nódulos radiculares.



INTERNATIONAL  
PLANT NUTRITION  
INSTITUTE

AV. INDEPENDÊNCIA, 350, SALA 142, BAIRRO ALTO, 13419-160  
PIRACICABA, SP, BRASIL

TELEPHONE: (19) 3433-3254 | WEBSITE: <http://brasil.ipni.net>

TWITTER: @IPNIBRASIL; FACEBOOK: <https://www.facebook.com/IPNIBrasil>



FOTO IPNI SHARMA E KUMAR

Folha de trigo deficiente em enxofre à esquerda e normal à direita.

### Enxofre nos solos

A maior parte do S do solo é geralmente encontrada na matéria orgânica e nos restos culturais. Este nutriente está presente em uma variedade de compostos orgânicos que não estão disponíveis para a absorção pelas plantas até que sejam convertidos em sulfato solúvel. A velocidade na qual os micro-organismos do solo convertem esses compostos orgânicos de S é determinada por temperatura, umidade e outros fatores ambientais.

Apenas uma pequena fração do S total do solo é encontrada na forma de sulfato. O sulfato é, geralmente, solúvel e se move prontamente com a água do solo para as raízes, ou pode se mover para a região abaixo da zona radicular em áreas sujeitas a altas precipitações pluviométricas ou com excesso de irrigação.

### Adubação dos solos com enxofre

Há inúmeras fontes de fertilizantes com S disponíveis para uso. Os fertilizantes contendo sulfato solúvel fornecem S imediatamente disponível para a nutrição das plantas. Os fertilizantes que contêm S elementar insolúvel necessitam conversão para sulfato antes que as raízes das plantas possam absorvê-lo. Bactérias comuns do solo (por exemplo, espécies de *Thiobacillus*) são responsáveis pela conversão de S elementar em sulfato, mas este processo pode levar de semanas a anos.

Condições favoráveis de temperatura do solo, umidade, pH e aeração aceleram essa conversão para sulfato. De modo semelhante, se as partículas de S elementar forem pequenas, isto aumentará a taxa de conversão.

### Sintomas de deficiência de enxofre

As plantas não mobilizam S dos tecidos mais velhos para suprir as necessidades deste nutriente nos pontos de crescimento mais jovens. Assim que o sulfato é assimilado pelos compostos orgânicos, não mais se move dentro da planta. Por essa razão, os sintomas de deficiência de S aparecem na forma de clorose (amarelecimento) e são observados primeiramente nos tecidos jovens de folhas, raízes e botões florais.

### Resposta das culturas a enxofre

As culturas frequentemente respondem bem à adubação com S, especialmente sob condições de baixa disponibilidade de sulfato no solo. A aplicação de S geralmente resulta em melhoria tanto da produtividade quanto da qualidade da cultura (Tabela 2). Isso é especialmente importante para culturas com altos requerimentos de S, como as que produzem sementes oleaginosas (soja e canola) e as culturas forrageiras. É possível prevenir perdas de produtividade se a deficiência de S for diagnosticada precocemente no ciclo de cultivo e se for prontamente aplicado fertilizante na forma de sulfato em cobertura. A atenção em relação à adubação com S tem se tornado mais importante em muitas áreas do mundo.

### Referências

RHEINHEIMER, D. S.; RASCHE, J. W. A.; OSORIO FILHO, B. D.; SILVA, L. S. Resposta à aplicação e recuperação de enxofre em cultivos de casa de vegetação em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 363–371, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v37n2/a11v37n2.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2016.

### Leitura complementar

MIKKELSEN, R.; NORTON, R. Soil and fertilizer sulfur. *Better Crops with Plant Food*, Atlanta, v. 97, no. 2, p. 7–9, 2013. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/632F03C99FACF37685257B7200550781/\\$FILE/BC%202013-2%20p7.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/632F03C99FACF37685257B7200550781/$FILE/BC%202013-2%20p7.pdf)>. Acesso em: 27 set. 2016.

NORTON, R.; MIKKELSEN, R.; JENSEN, T. Sulfur for plant nutrition. *Better Crops with Plant Food*, Atlanta, v. 97, no. 2, p. 10–12, 2013. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/A04D690D24FB9E6085257B7200552E54/\\$FILE/BC%202013-2%20p10.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/A04D690D24FB9E6085257B7200552E54/$FILE/BC%202013-2%20p10.pdf)>. Acesso em: 27 set. 2016.

**Tabela 2.** Disponibilidade de  $S-SO_4^{2-}$  no solo e produção de matéria seca (MS) de canola e feijoeiro em resposta à aplicação de doses de enxofre em dois tipos de solo, em casa de vegetação.

Dose de $S-SO_4^{2-}$ (mg/vaso)	LVAd <sup>1</sup>		RQo <sup>2</sup>	
	$S-SO_4^{2-}$ solo (mg/dm <sup>3</sup> )	MS (g/vaso)	$S-SO_4^{2-}$ solo (mg/dm <sup>3</sup> )	MS (g/vaso)
<b>Canola</b>				
0	12,4	8,7	1,9	3,1
55	13,3	13,1	3,6	4,7
110	17,2	16,8	3,3	6,9
220	26,7	15,5	4,2	6,2
<b>Feijoeiro</b>				
0	14,6	11,9	3,4	7,8
73,3	17,6	11,6	3,1	7,6
146,6	18,0	11,5	3,8	8,5
293,3	29,4	11,5	3,1	8,9

<sup>1</sup>Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (LVAd).

<sup>2</sup>Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo).

**Fonte:** Baseada em Rheinheimer e outros (2007, p. 367).