

ENXOFRE

Prof. Volnei Pauletti

Departamento de Solos e Engenharia Agrícola
vpauletti@ufpr.br



REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS PRINCIPAIS COMPONENTES
E PROCESSOS DO CICLO DO ENXOFRE.



S - fontes

- * Matéria orgânica do solo:
 - * principal fonte S (> 95%).
- * Outras fontes naturais:
 - * Estercos animais, água irrigação e atmosfera.
- * Estercos: 0,02 a 0,3% (espécies, método de armazenagem e aplicação, etc).
- * $\text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_4$, e outros gases da atmosfera dissolvidos na água da chuva e da neve (entre 5 – 30 kg ha⁻¹ ano⁻¹)...principalmente em áreas industrializadas.

S - fontes

- * Forma insolúvel (S elementar): não imediatamente disponível para as plantas
→ precisa ser oxidado a sulfato.
- * Fertilizantes solúveis: imediatamente disponíveis para plantas.

Algumas fontes de enxofre

Material	S (%)
S elementar	98 – 99
Sulfato de alumínio	14,0
Sulfato de amônio	24
Sulfato de cobre	12,8
Sulfato de ferro	19,0
Gesso	14 – 17
Sulfato de magnésio	13,0
Sulfato de manganês	14,5
Sulfato de potássio	18,0
Sulfato de potássio e magnésio	22,0
Superfosfato simples	11,9
Superfosfato triplo	1,4

GESSO: FONTE EFICIENTE E BARATA

- Gipsita



- Fosfogesso



CESSO: FONTE EFICIENTE E BARATA DE S

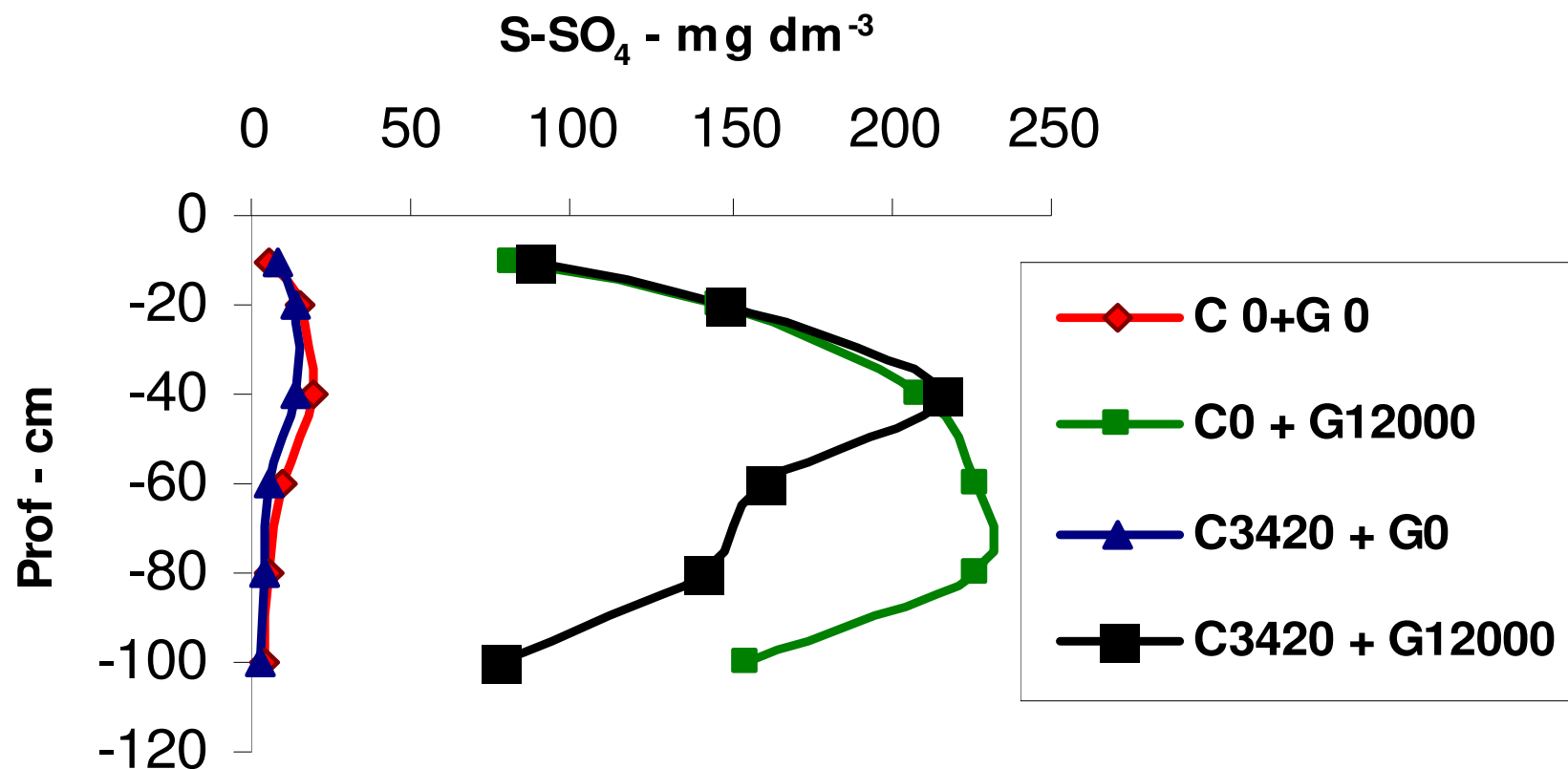
- Fonte de Ca – 24 a 28%
- Fonte de S – 14 a 17%
- Desloca Ca em profundidade
- Contém P_2O_5 – 0,8 a 1,2 % CNA

Decada 70

BRASIL



Análise de solo ENXOFRE – 1 ano após aplicação



Fatores que contribuem para o aparecimento de deficiências de S...

- * Cultura a ser explorada:
 - * culturas forrageiras de alta produtividade (híbridos de capim bermuda e alfafa) removem mais S.
- * Textura do solo:
 - * lixiviação de sulfato nos solos arenosos maior que nos argilosos.

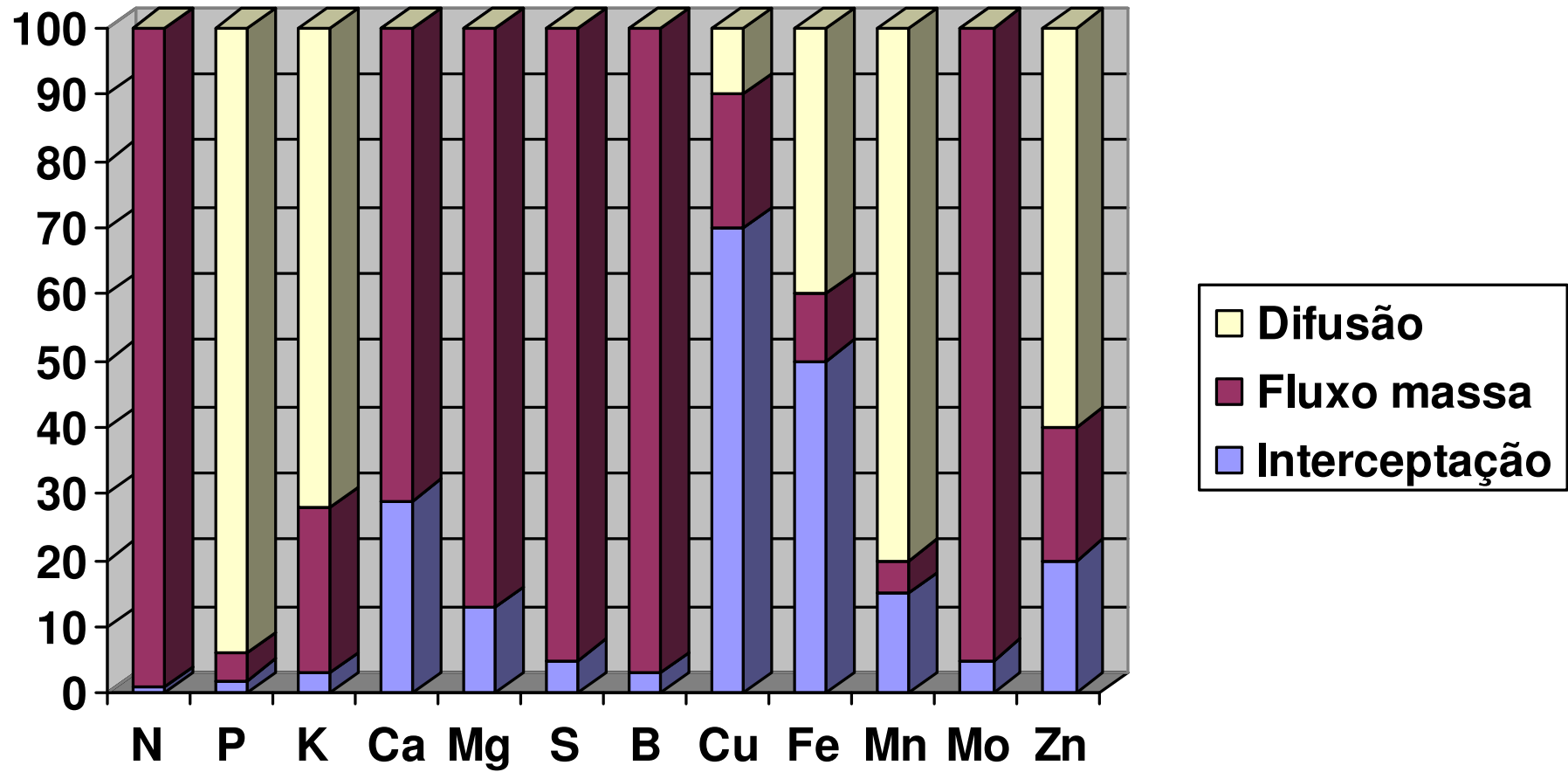
Fatores que contribuem para o aparecimento de deficiências de S...

- * **Matéria orgânica:**
 - * solos com menos 2% MO comumente apresentam deficiência de S
- * **Qualidade da água de irrigação:**
 - * lagos e rios contêm altos níveis de S em comparação com água de poços profundos

Extração e exportação de S pelas culturas

Cultura	Conteúdo de S	
	Planta inteira	Removido colheita
	kg t ⁻¹	
Arroz (irrigado)	3,0	2,2
Milho	2,6	1,1
Trigo (sequeiro)	3,5	1,2
Batata	0,8	0,4
Feijão	16,0	5,7
Soja	8,3	3,0

MECANISMO DE CONTATO DO ENXOFRE COM AS RAÍZES DAS PLANTAS



S - FORMA ABSORÇÃO E REDISTRIBUIÇÃO

- *Mecanismo de contato com a raiz:* fluxo de massa
- *Rota de Absorção:* Simplástica
- *Absorção:* Carreador do tipo simporte $3\text{H}^+/\text{SO}_4^-$
- *Forma de absorção:* SO_4^{-2}
- *Redistribuição:* imóvel

S – absorção

Absorção de SO_2 diretamente da atmosfera pelos estômatos das plantas...

PORÉM...

Exposição prolongada (> 8h)
e altas concentrações (> 0,3 ppm)



Danos nos tecidos devido formação de H_2SO_4 !!!

FUNÇÕES E COMPOSTOS EM QUE O ENXOFRE PARTICIPA NA PLANTA (HEWITT & SMITH, 1975)

Funções: Grupo Ativo de Enzimas e Coenzimas

Compostos: Cisteína, Cistina, Metionina, Taurina, Glutathione, Sulfolipídeos e Coenzimas.

S – funções na planta

- ★ É parte de cada célula viva e constituinte de aminoácidos que formam proteínas;
- ★ Ajuda na produção de enzimas e vitaminas;
- ★ Necessário na formação da clorofila.
- ★ Participa no transporte fotossintético e respiratório de elétrons (agrupamentos ferro-enxofre).

S – funções na planta

- * Auxilia na formação das sementes;
- * Promove formação dos nódulos (para fixação do nitrogênio) em leguminosas;
- * Presente em vários compostos orgânicos que dão os odores ao alho, mostarda, cebola;

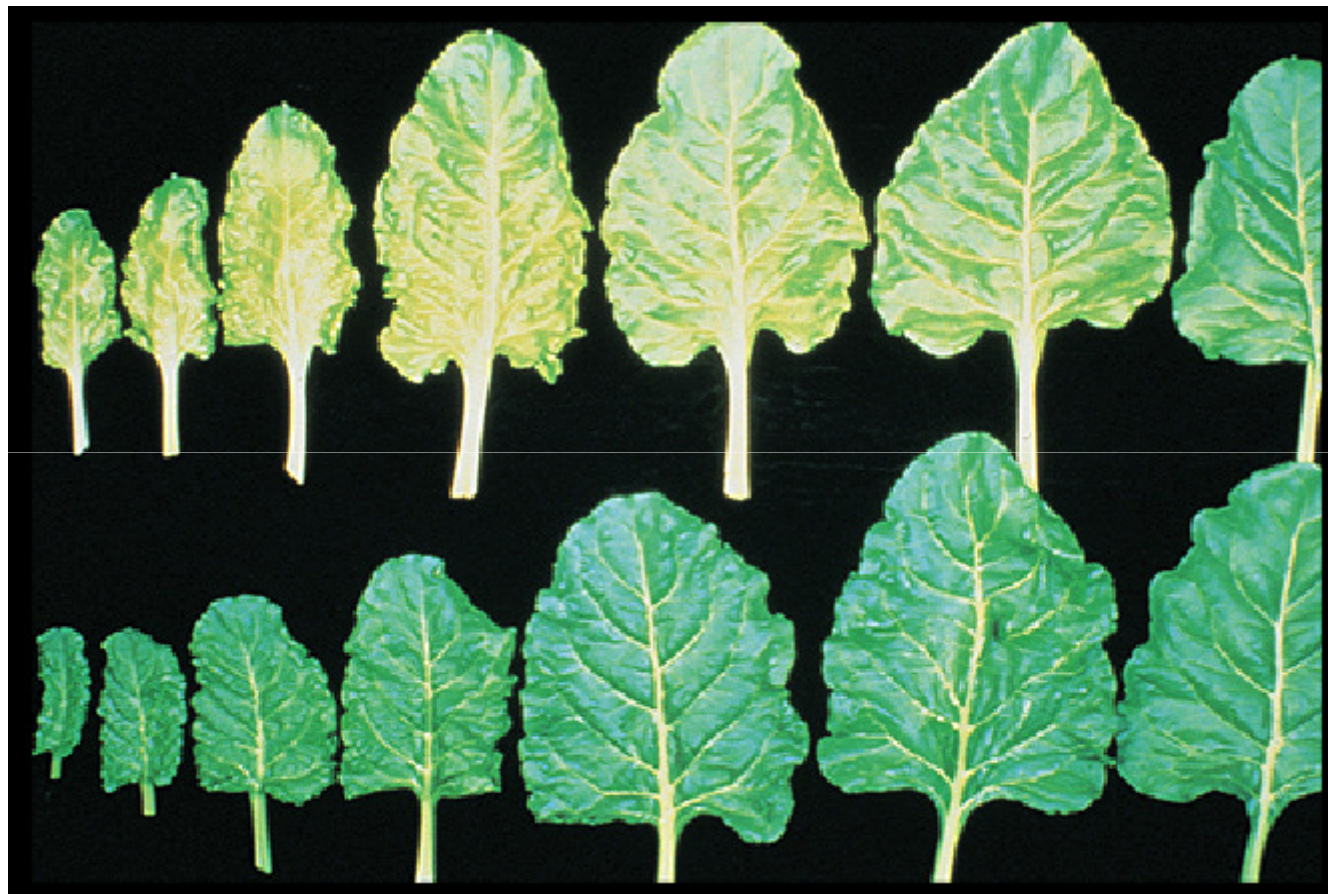
NÍVEIS ADEQUADOS DE MACRONUTRIENTES PARA ALGUMAS CULTURAS (TEORES EM FOLHAS, g kg⁻¹)

Cultura	Arroz (2,4)	Aveia (7)	Feijão (2,6)	Milho (1,2,5)	Soja (2,3,6)	Trigo (7)
Elemento	----- g kg ⁻¹ -----					
N	26 - 42	20 - 30	30 - 50	27 - 35	40 - 55	20 - 34
P	1,2 - 4,8	2 - 5	2 - 5	1,9 - 4	2,5 - 5	2,1 - 3,3
K	15 - 40	15 - 30	20 - 24	17 - 35	17 - 25	15 - 30
Ca	2,5 - 6	2,5 - 5	10 - 25	2,3 - 8	3,6 - 20	2,5 - 10
Mg	1,7 - 3	1,5 - 5	2,5 - 5	1,5 - 5	2,6 - 10	1,5 - 4
S	-	1,5 - 4	2 - 3	1,5 - 3	2,1 - 4	1,5 - 3
	----- mg kg ⁻¹ -----					
Fe	70 - 300	40 - 150	40 - 140	30 - 250	50 - 350	10 - 300
Cu	5 - 20	5 - 25	4 - 20	6 - 20	10 - 30	5 - 25
Zn	20 - 150	15 - 70	18 - 50	15 - 100	20 - 50	20 - 70
B	20 - 100	5 - 20	15 - 26	10 - 25	20 - 55	5 - 20
Mn	30 - 600	25 - 100	15 - 100	20 - 200	20 - 100	25 - 150
Mo	-	0,2 - 0,3	0,5 - 1,5	0,15 - 0,20	1 - 5	0,3 - 0,5

NÍVEIS ADEQUADOS DE MACRONUTRIENTES PARA ALGUMAS CULTURAS (TEORES EM FOLHAS, g kg⁻¹)

Cultura	Cevada (4)	Batata (1,2)	Alfafa (5,3)	Sorgo (1,4)	Centeio (4)
Elemento	----- g kg ⁻¹ -----				
N	17 - 30	40 - 50	34 - 70	25 - 35	25 - 35
P	2 - 5	2,5 - 5	2,5 - 7	2 - 5	2 - 5
K	15 - 30	30 - 65	20 - 40	14 - 25	19 - 23
Ca	2,5 - 6	10 - 20	5,1 - 30	2,5 - 6	2,5 - 6
Mg	1,5 - 5	3 - 7,5	2,6 - 10	1,5 - 5	1,5 - 5
S	1,5 - 4	2,5 - 5	2 - 5	1,5 - 3	1,5 - 5
	----- mg kg ⁻¹ -----				
Fe	25 - 100	50 - 100	20 - 300	65 - 100	25 - 200
Cu	5 - 25	7 - 20	8 - 30	5 - 20	5 - 25
Zn	15 - 70	20 - 60	21 - 70	15 - 50	15 - 70
B	5 - 20	20 - 50	23 - 80	4 - 20	5 - 20
Mn	20 - 100	30 - 250	26 - 250	10 - 190	14 - 150
Mo	0,1 - 0,2	-	1,1 - 4	0,1 - 0,3	0,2 - 2

S – Diagnose visual



DEFICIÊNCIAS DE ENXOFRE EM BETERRABA



Sintomas de deficiência em tomate (Epstein e Bloom, 2004).

S – sintomas de deficiência



Figura 14. Resposta da soja ao S em cerrado de Minas Gerais.

Deficiências de Enxofre



Batata

ENXOFRE - REVISÃO

Forma Absorvida: SO_4^{2-}

Mobilidade de Redistribuição: Imóvel

Teores Médios: 1 – 3 g kg^{-1}

Funções nas Plantas: Aminoácidos

Características de deficiência: Amarelecimento generalizado das folhas novas

