

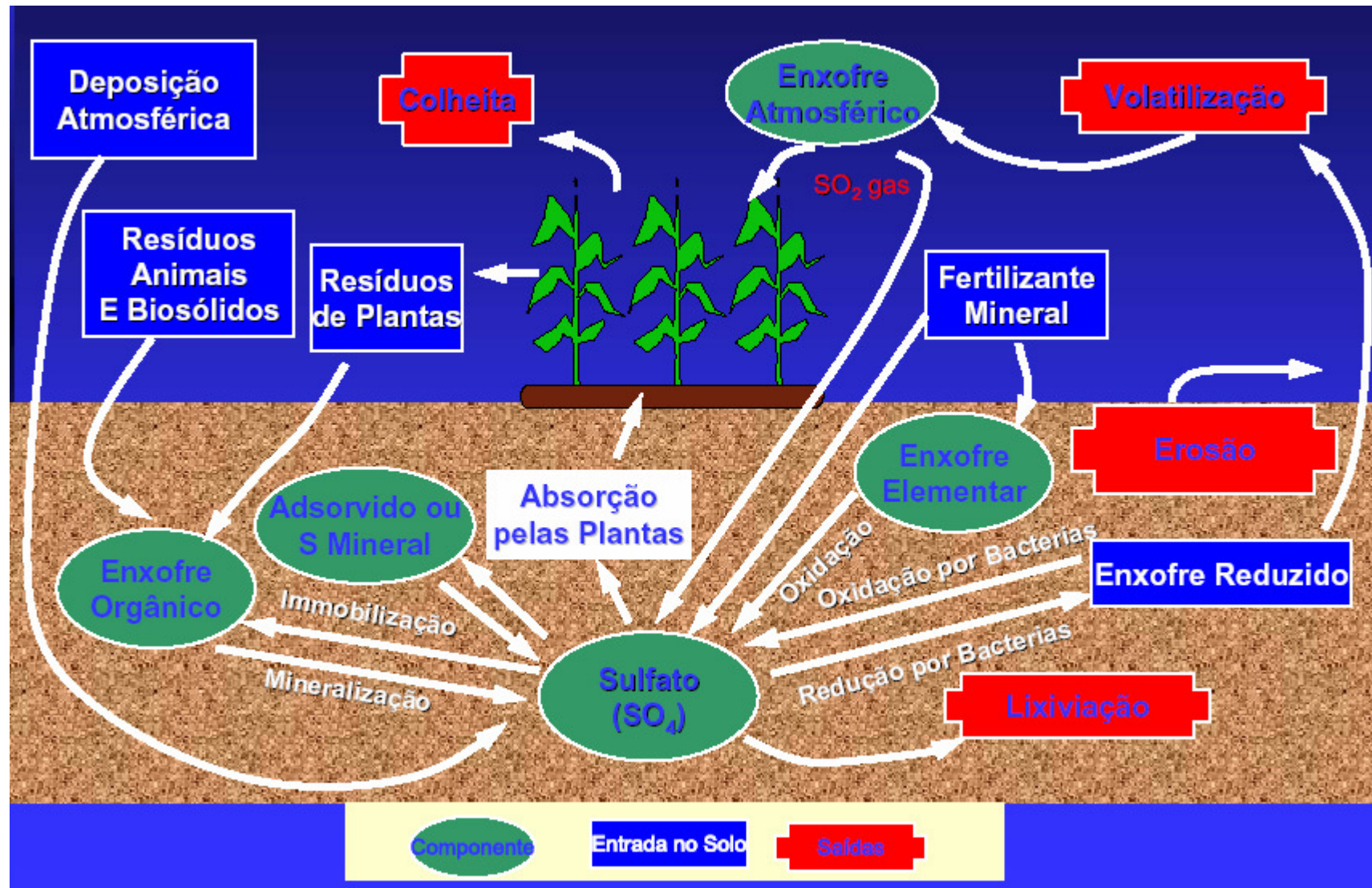
ENXOFRE

Prof. Volnei Pauletti

Departamento de Solos e Engenharia Agrícola
vpauletti@ufpr.br




CICLO DO ENXOFRE



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



ESTADOS DE OXIDAÇÃO DO ENXOFRE NO SOLO (BISSANI & TEDESCO, 1988)

	Anaerobiose  Aerobiose				
	Redução				Oxidação
Estado de oxidação	S^{2-}	S^0	S^{2+}	S^{4+}	S^{6+}
Composto ou íon	H_2S	S	$S_2O_3^{2-}$	SO_2	SO_4^{2-}
Denominação	Sulfetos	Enxofe elementar	Tiosulfato	Dióxido de enxofre	Sulfato

NÍVEIS DE INTERPRETAÇÃO DE S NO SOLO

SP

Cátions trocáveis

Classe	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	S	V
	CaCl ₂	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	mg dm ⁻³	%
Muito Baixo	≤ 4,3	-	-	≤ 0,7	-	≤ 25
Baixo	4,4 – 5,0	≤ 3	≤ 4	0,8 - 1,5	≤ 4	26 - 50
Médio	5,1 - 5,5	4 - 7	5 - 8	1,6 - 3,0	5 – 10	51 - 70
Alto	5,6 - 6,0	> 7	> 8	3,1 - 6,0	> 10	71 - 90
Muito Alto	> 6,0	-	-	> 6,0	-	> 90

NÍVEIS DE INTERPRETAÇÃO DE S NO SOLO

RS e SC

Cátions trocáveis

Classes de Interpretação	Enxofre	Cobre (HCl 0,1N)	Zinco (HCl 0,1N)	Boro (Água)
		----- mg dm ⁻³ -----		
Baixo	< 2	< 0,15	< 0,2	< 0,1
Médio	2 - 5	0,15 - 0,4	0,2 - 0,5	0,1 - 0,3
Alto	> 5*	> 0,4	> 0,5	> 0,3

* 10 mg dm⁻³ para leguminosas e para culturas mais exigentes em enxofre (brássicas, liliáceas, etc).

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



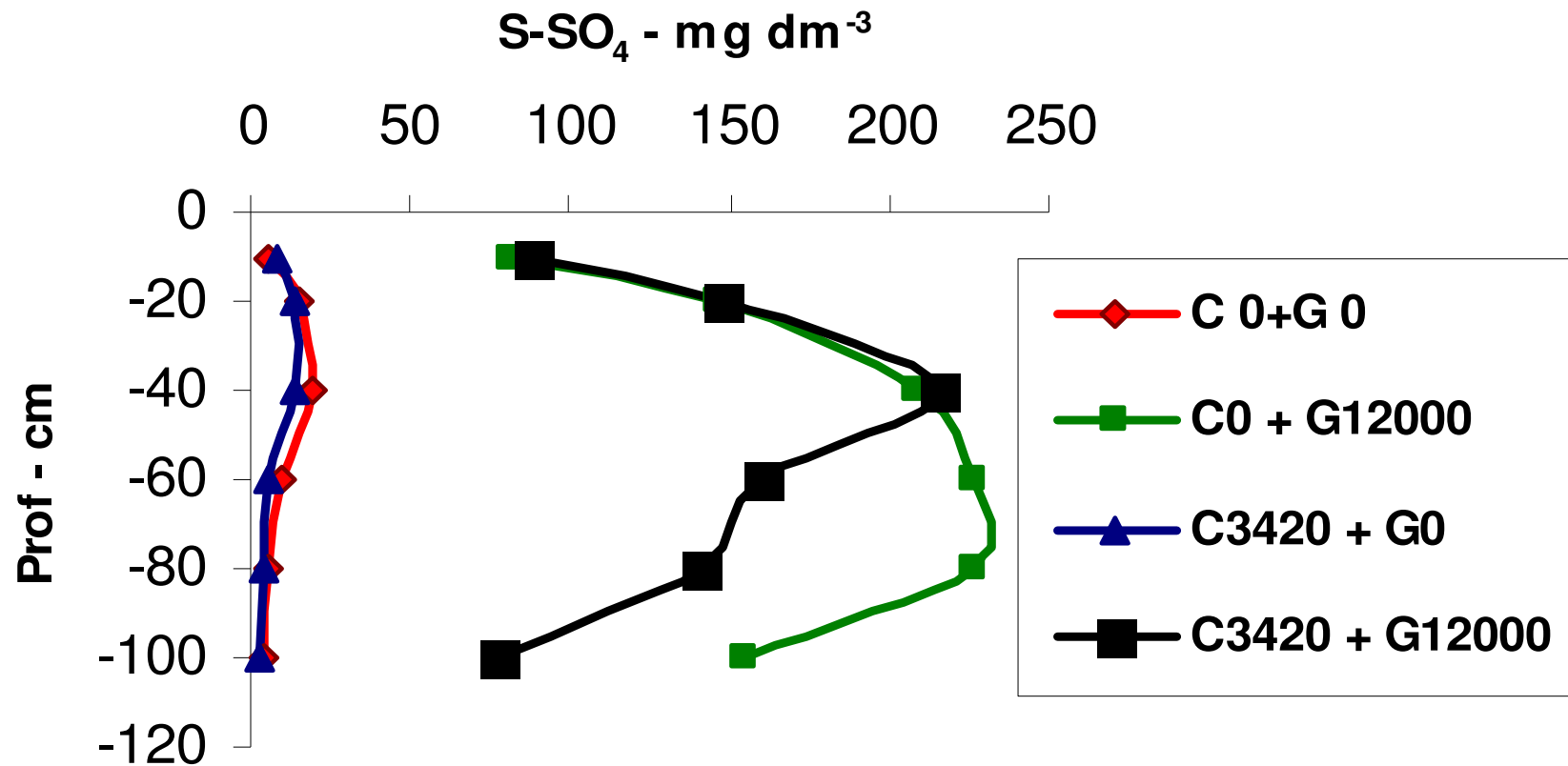
GESSO: FONTE EFICIENTE E BARATA DE S

- 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.

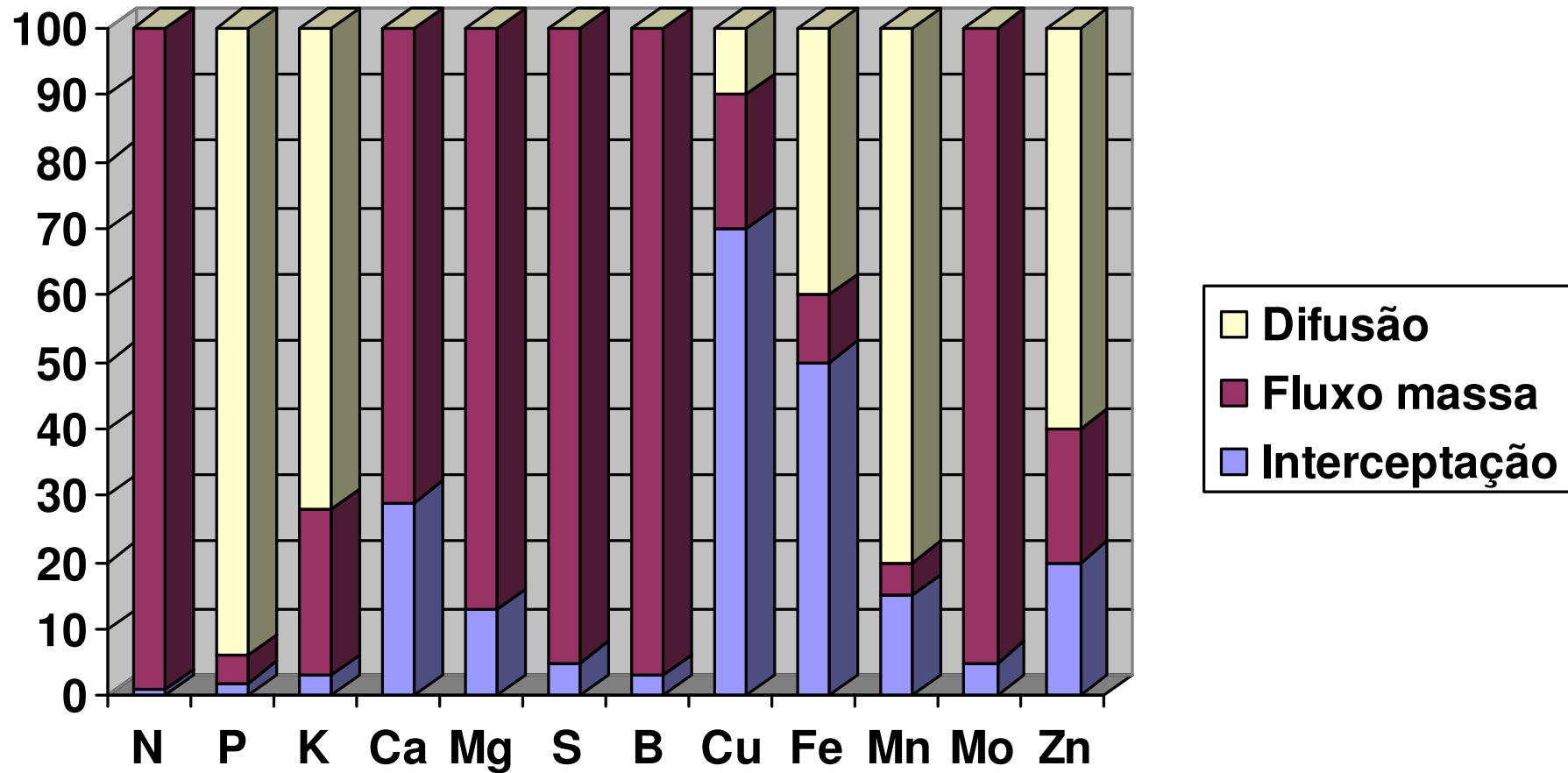
Fatores que contribuem para o aparecimento de deficiências de S...

- * **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
- *Absorção:* Carreador do tipo simporte $3\text{H}^+/\text{SO}_4^-$
- *Forma de absorção:* SO_4^{-2}
- *Redistribuição:* imóvel

CONCENTRAÇÃO E FORMAS DE ENXOFRE NA SOLUÇÃO DO SOLO, XILEMA E FLOEMA DAS PLANTAS

Nutriente	Solução do Solo Conc. (μM)		Xilema		Floema	
	Valores Médios	Forma	Conc. (μM)	Forma	Conc. (μM)	Forma
Enxofre	500	SO_4^{2-}	1.400	SO_4^{2-}	900	Sem SO_4^{2-}

Absorção

- Além do sulfato, a planta pode absorver **aminoácidos** contendo S como é o caso da cisteína e da metionina.
- O Cl^- e o SO_4^{2-} competem pelo mesmo sítio de absorção no sistema radicular.
- As plantas podem absorver via foliar (via estômatos), principalmente o **SO_2 (sulfito) atmosférico**. Embora este gás seja absorvido de forma pouco eficiente, para algumas plantas esta via pode suprir grande quantidade do S necessário.

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;

S – Diagnose foliar

TEORES MÍNIMOS ADEQUADOS (NÍVEIS CRÍTICOS) DE MACRONUTRIENTES (g kg^{-1}) EM ALGUMAS CULTURAS

Cultura	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg^{-1} -----					
Abacaxi	15,0	1,20	30,0	5,00	3,00	-
Algodão	32,0	1,70	15,0	20,0	5,00	4,00
Arroz	30,0	1,20	20,0	6,00	3,00	-
Banana	26,0	2,20	28,0	6,00	3,00	2,00
Batata	50,0	3,00	30,0	10,0	3,00	-
Café	28,0	1,20	18,0	10,0	3,50	2,00
Cana	16,0	1,20	10,0	4,00	2,00	2,00
Citros	22,0	1,20	10,0	30,0	3,00	2,00
Feijão	30,0	3,00	20,0	25,0	5,00	2,00
Maçã	22,0	1,80	13,0	9,50	3,50	2,00
Milho	30,0	2,00	20,0	4,50	2,50	2,00
Pinus spp	13,0	2,00	10,0	-	2,00	2,00
Soja	45,0	2,50	17,0	10,0	4,00	2,50
Sorgo	30,0	5,00	22,0	3,50	2,50	-
Tomateiro	40,0	4,00	38,0	20,0	5,00	-
Videira	25,0	2,00	15,0	4,00	4,00	-

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

Cultura	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
Alho	25 - 30	3,0 - 4,0	36 - 44	5 - 7	2,5	4,0 - 7,0
Alface	28	4,0	62	13	4,0	3,0
Batata	38 - 48	3,0 - 4,0	40 - 50	20 - 23	8,0 - 10,0	3,0 - 4,0
Beringela	48	4,0	42	35	3,0	2,0
Cenoura	29	2,0	22 - 35	25	3,0	4,0
Couve-Flor	23 - 40	5,0	28 - 50	35	5,0	15,0
Cebola	31	3,0	52	40	4,0	8,0
Espinafre	37	3,0	60	10	9,0	3,0
Ervilha	36	5,0	26	15	5,0	-
Morango	25 - 30	3,0 - 4,0	16 - 19	10 - 14	3,0 - 4,0	1,0 - 3,0
Pimentão	31	2,0	58	26	8,0	4,0
Quiabo	37	4,0	20	37	8,0	3,0
Repolho	-	7,0	40 - 50	20	5,0	7,0
Tomate	30 - 40	4,0	30	40	4,0	3,0

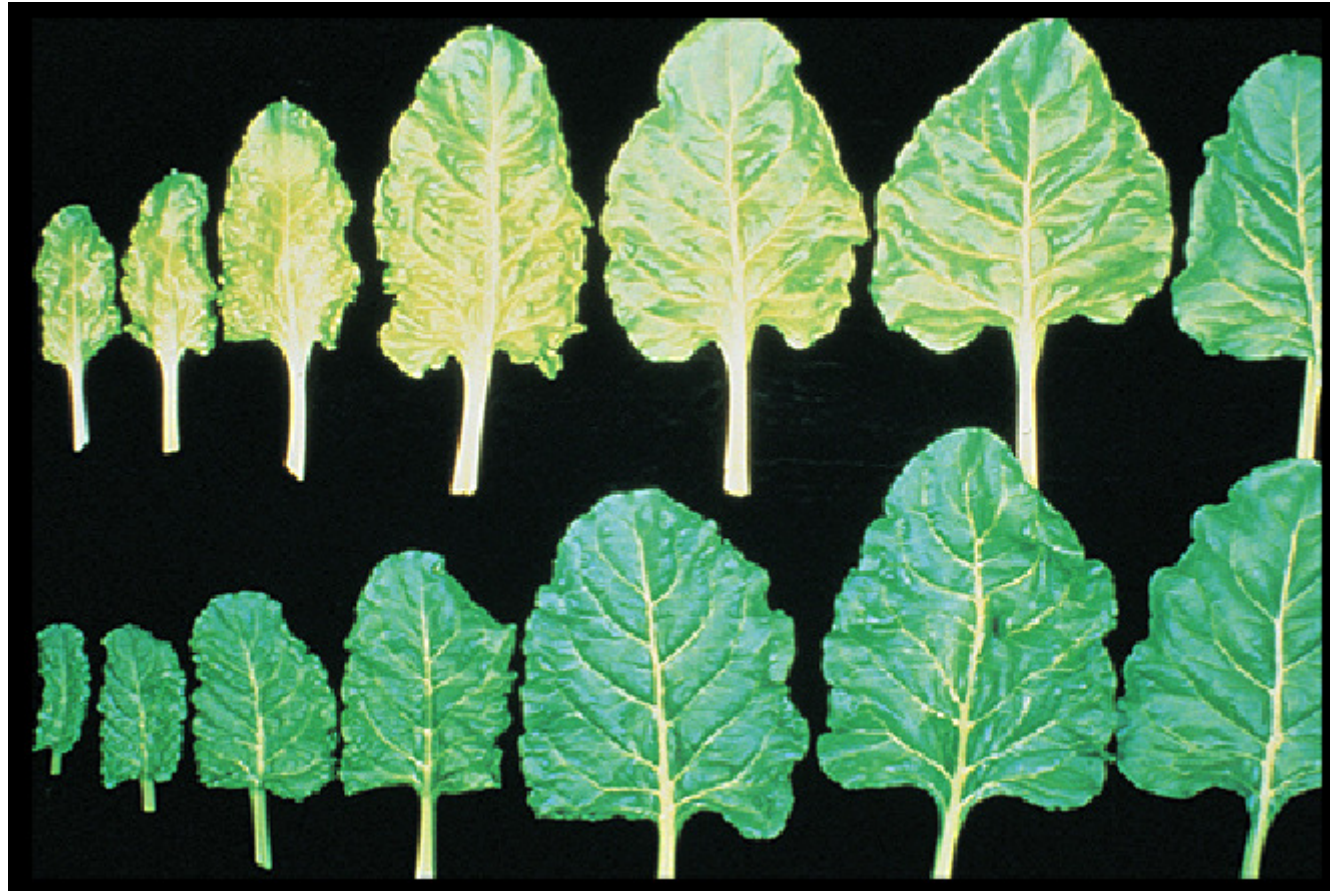
NÍVEIS ADEQUADOS DE MACRONUTRIENTES PARA ALGUMAS CULTURAS (TEORES EM FOLHAS, g kg⁻¹)

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

