



**16 a 20  
outubro  
2016**

**Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO**

# **Novas estratégias no manejo da adubação com enxofre**

**Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti**

**Prof. Dr. Rafael Otto**

**Ac. Julia Savieto**

**Goiânia, 20 de outubro de 2016.**



**16 a 20**  
**outubro**  
**2016**

**Centro de**  
**Convenções de**  
**GOIÂNIA - GO**

**FERTBIO 2016**  
"RUMO AOS NOVOS DESAFIOS"

<b>1A</b>										<b>2A</b>										<b>3A</b>										<b>4A</b>										<b>5A</b>										<b>6A</b>										<b>7A</b>										<b>8A</b>									
1 <b>H</b> Hidrogênio																				2 <b>He</b> Hélio																																																											
3 <b>Li</b> Lítio	4 <b>Be</b> Berílio																				5 <b>B</b> Boro	6 <b>C</b> Carbono	7 <b>N</b> Nitrogênio	8 <b>O</b> Oxigênio	9 <b>F</b> Flúor	10 <b>Ne</b> Neônio																																																					
11 <b>Na</b> Sódio	12 <b>Mg</b> Magnésio																				13 <b>Al</b> Alumínio	14 <b>Si</b> Silício	15 <b>P</b> Fósforo	16 <b>S</b> Enxofre	17 <b>Cl</b> Cloro	18 <b>Ar</b> Argônio																																																					
19 <b>K</b> Potássio	20 <b>Ca</b> Cálcio	21 <b>Sc</b> Escândio	22 <b>Ti</b> Titânio	23 <b>V</b> Vanádio	24 <b>Cr</b> Cromio	25 <b>Mn</b> Manganês	26 <b>Fe</b> Ferro	27 <b>Co</b> Cobalto	28 <b>Ni</b> Níquel	29 <b>Cu</b> Cobre	30 <b>Zn</b> Zinco	31 <b>Ga</b> Gálio	32 <b>Ge</b> Germano	33 <b>As</b> Arsênio	34 <b>Se</b> Selênio	35 <b>Br</b> Bromo	36 <b>Kr</b> Criptônio																																																														
37 <b>Rb</b> Rubídio	38 <b>Sr</b> Estrôncio	39 <b>Y</b> Ítrio	40 <b>Zr</b> Zircônio	41 <b>Nb</b> Níbio	42 <b>Mo</b> Molibdênio	43 <b>Tc</b> Tecnécio	44 <b>Ru</b> Rutênio	45 <b>Rh</b> Ródio	46 <b>Pd</b> Paládio	47 <b>Ag</b> Prata	48 <b>Cd</b> Cádmio	49 <b>In</b> Índio	50 <b>Sn</b> Estanho	51 <b>Sb</b> Antimônio	52 <b>Te</b> Telúrio	53 <b>I</b> Iodo	54 <b>Xe</b> Xenônio																																																														
55 <b>Cs</b> Césio	56 <b>Ba</b> Bário	57 - 71 * Lantanídeos	72 <b>Hf</b> Ráfio	73 <b>Ta</b> Tântalo	74 <b>W</b> Tungstênio	75 <b>Re</b> Rênio	76 <b>Os</b> Ósmio	77 <b>Ir</b> Íridio	78 <b>Pt</b> Platina	79 <b>Au</b> Ouro	80 <b>Hg</b> Mercúrio	81 <b>Tl</b> Tálio	82 <b>Pb</b> Chumbo	83 <b>Bi</b> Bismuto	84 <b>Po</b> Polônio	85 <b>At</b> Astató	86 <b>Rn</b> Radônio																																																														
87 <b>Fr</b> Frâncio	88 <b>Ra</b> Rádio	88 - 103 ** Actinídeos	104 <b>Rf</b> Rutherfordio	105 <b>Db</b> Dúbio	106 <b>Sg</b> Seabórgio	107 <b>Bh</b> Bório	108 <b>Hs</b> Hássio	109 <b>Mt</b> Meitnério	110 <b>Ds</b> Darmatádio	111 <b>Rg</b> Roentgênio	112 <b>Cp</b> Copernício	113 <b>Uut</b> Ununtrium	114 <b>Uuq</b> Ununquádio	115 <b>Uup</b> Ununpentio	116 <b>Uuh</b> Ununhexio	117 <b>Uus</b> Ununseptio	118 <b>Uuo</b> Ununoctio																																																														

- Metais Alcalinos
- Metais Alcalinos Terrosos
- Metais de Transição
- Lantanídeo
- Actinídeo

16

**S**

Enxofre

32,065

Halogênios

# Não metal

### Série dos Lantanídeos

57 <b>La</b> Lantânio	58 <b>Ce</b> Cério	59 <b>Pr</b> Praseodímio	60 <b>Nd</b> Neodímio	61 <b>Pm</b> Promécio	62 <b>Sm</b> Samário	63 <b>Eu</b> Európio	64 <b>Gd</b> Gadolínio	65 <b>Tb</b> Térbio	66 <b>Dy</b> Disprósio	67 <b>Ho</b> Holmio	68 <b>Er</b> Érbio	69 <b>Tm</b> Túlio	70 <b>Yb</b> Íterbio	71 <b>Lu</b> Lutécio
-----------------------------	--------------------------	--------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	------------------------------	---------------------------	------------------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	----------------------------	----------------------------

### Série dos Actinídeos

87 <b>Ac</b> Actínio	88 <b>Th</b> Tório	89 <b>Pa</b> Protactínio	90 <b>U</b> Urânio	91 <b>Np</b> Neptúlio	92 <b>Pu</b> Plutônio	93 <b>Am</b> Americio	94 <b>Cm</b> Cúrio	95 <b>Bk</b> Berquélio	96 <b>Cf</b> Califórnio	97 <b>Es</b> Einsteinio	98 <b>Fm</b> Férmio	99 <b>Md</b> Mendelévio	100 <b>No</b> Nobelio	101 <b>Lr</b> Laurêncio
----------------------------	--------------------------	--------------------------------	--------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	--------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	---------------------------	-------------------------------	-----------------------------	-------------------------------

- Fe** Elementos Sólidos nas CNTP
- Hg** Elementos Líquidos nas CNTP
- Kr** Elementos Gasosos nas CNTP

# 1. Introdução



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

## Legislação brasileira

Decreto 4 de julho, 2006

Capitulo I – Artigo 2 – Item XIV - Letra b:

**Macronutrientes secundários:** “Os elementos cálcio, magnésio e enxofre são expressos como cálcio (Ca), magnésio (Mg) e **enxofre (S)** respectivamente”

**\* Enxofre: S e SO<sub>3</sub>**

**\* 1 S = 2,5 SO<sub>3</sub>**

# 2. Enxofre na planta

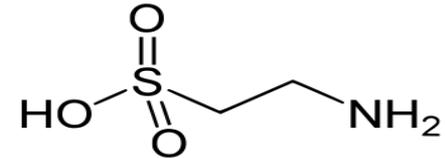
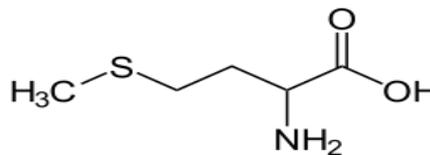
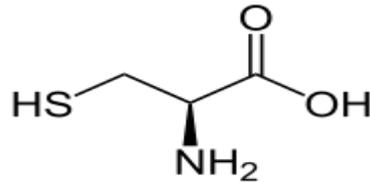
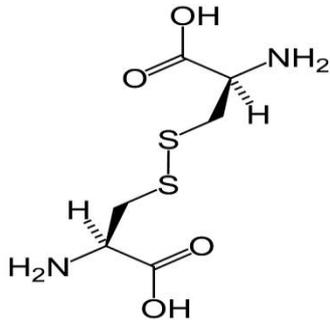
## 2.1. Função

2.1.1. Essencial para a formação de todas as proteínas na planta

2.1.2. Componente de aminoácidos

Cistina : Cisteína : Metionina : Taurina

**Aminoácidos essenciais**



## 2.1.3. Formação de proteínas de alta qualidade

**Coenzimas: Tiamina (B1)**  
**Biotina**  
**Coenzima A (CoA)**

## 2.1.4. Metabolismo do nitrogênio

**Fotossíntese**  
**Fixação N<sub>2</sub>**  
**Redutase do nitrito**

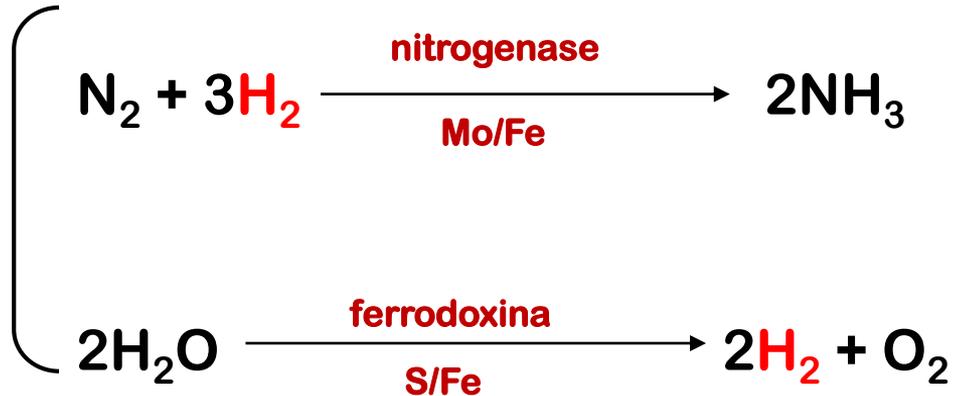
# Metabolismo do nitrogênio



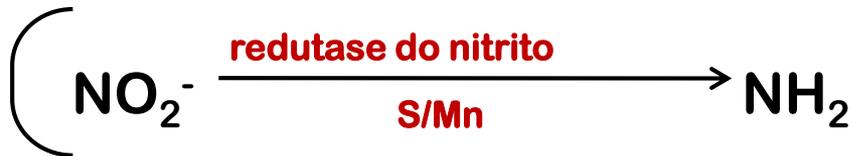
16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

## Fixação N<sub>2</sub>



## Metabolização N



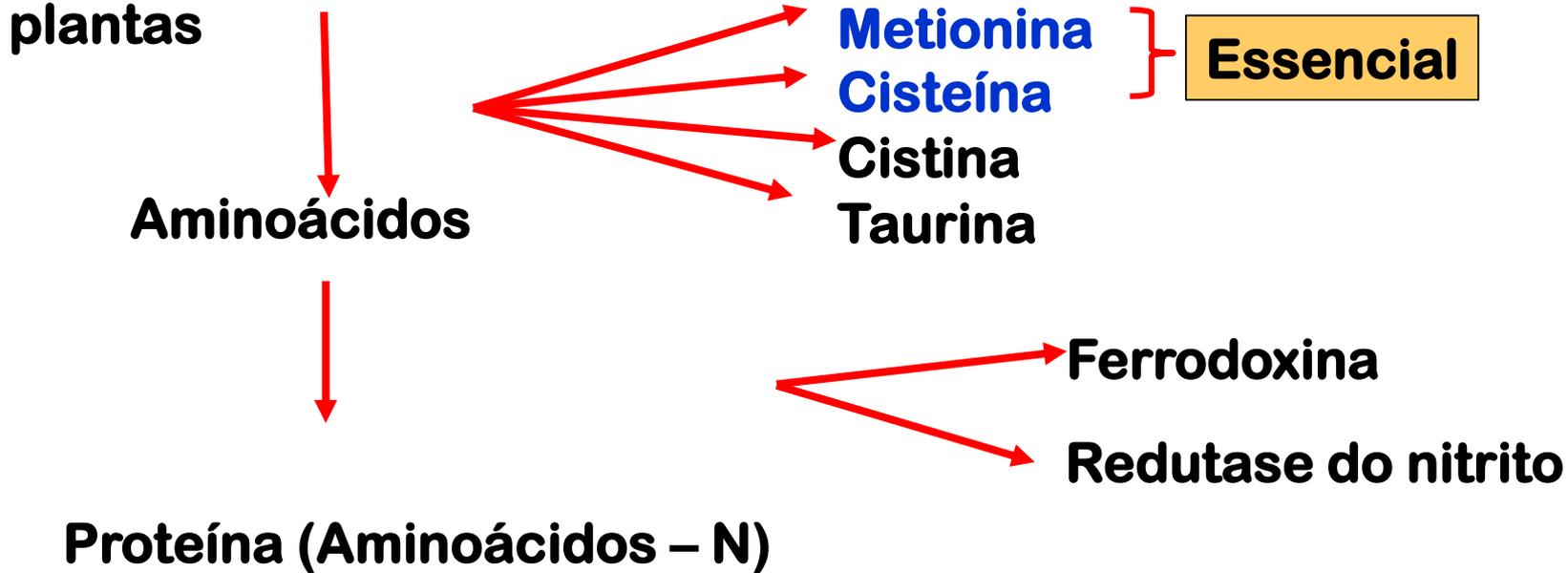
# Função do enxofre na planta



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

O nitrogênio e o enxofre trabalham juntos no metabolismo das plantas



***A principal função do enxofre é ser constituinte de proteína***

# Função do enxofre na planta



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

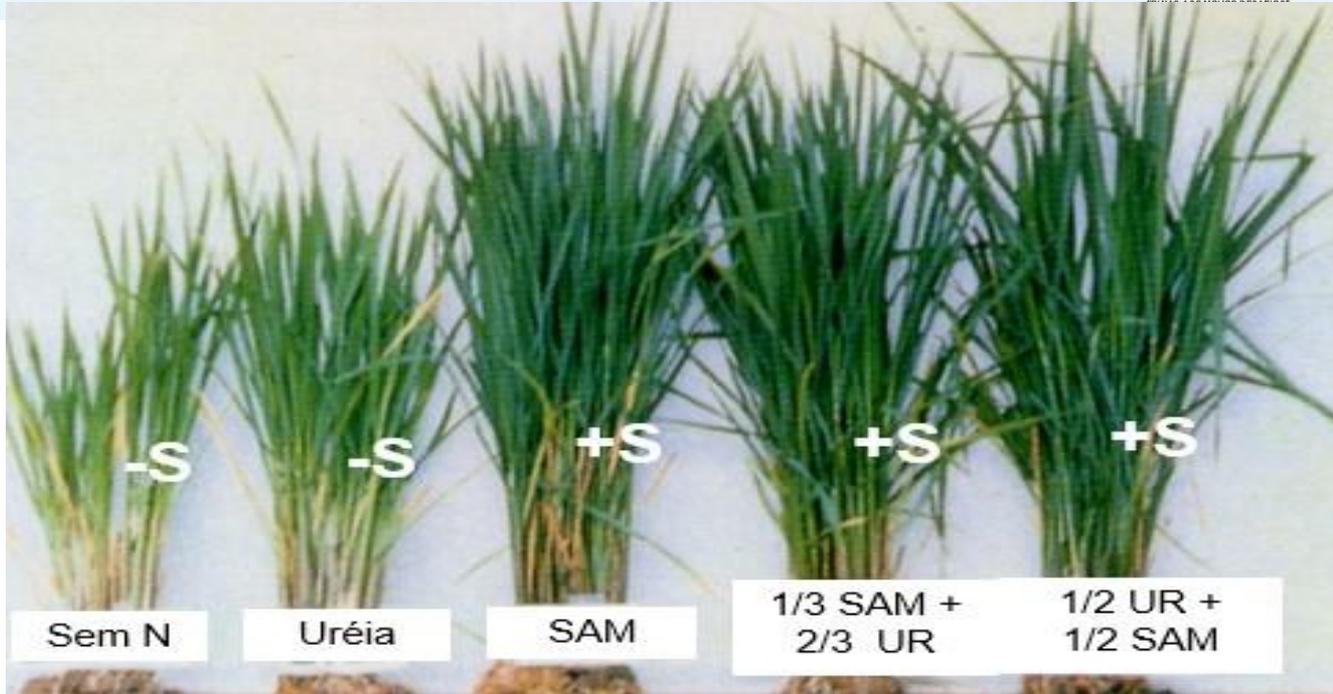


Figura. Interações de nitrogênio e enxofre em plantas de arroz. SAM= Sulfato de Amônio; UR= Ureia (Lefroy et al, 1992)

**O nitrogênio e o enxofre trabalham juntos no metabolismo das plantas**

## 2.1.5. Formação de Glicosídeos

---

Alho }  
Cebola } **Bissulfeto de Alila**  
Mostarda } **(CS<sub>2</sub>)**

## 2.1.6. Ativação de enzimas proteolíticas

---

**Ficinase - Figo**

**Bromelina – Abacaxi**

**Papaína - Mamão**

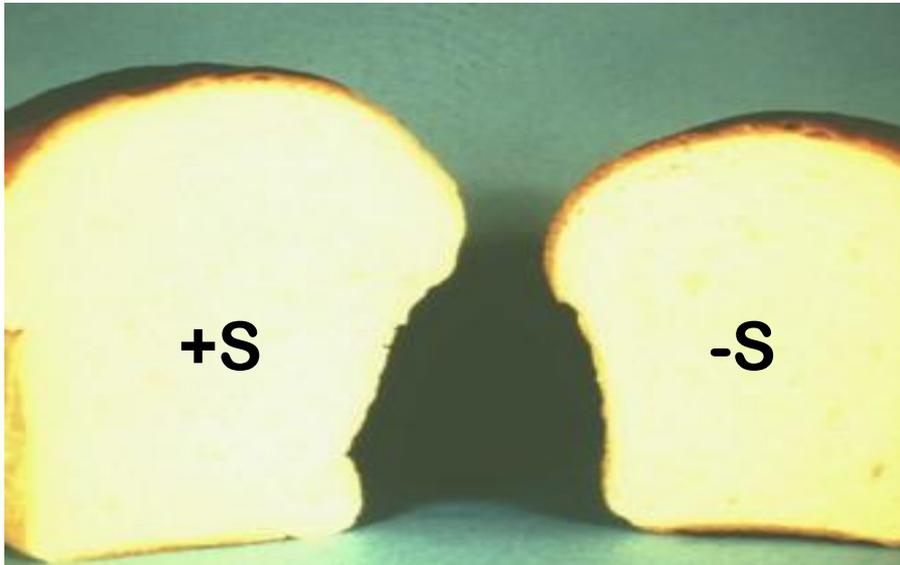
## 2.1.7. Grupos sulfidrilos (SH) e Dissulfeto (-SS) aumentam a resistência ao frio, seca e palatabilidade.



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

### Trigo



- Pães menores
- Textura granulada
- Textura mais rija
- Miolo mais firme e pesado
- Menor extensibilidade da massa
- Portanto, pão envelhece mais rapidamente

# Brachiaria brizantha



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

Tratamento Pastagem	Matéria Seca (kg ha <sup>-1</sup> )	Proteína Bruta (%)	Taxa de lotação (UA ha <sup>-1</sup> )	kg peso vivo ha <sup>-1</sup> ano
Fosfato + Gesso Agrícola	2775	7,19	0,70	161,3
Fosfato	2304	6,25	0,58	110,1
Controle	1851	6,19	0,47	69,1

Ocorrência de leguminosas nativas  
(aumento da palatibilidade):

- *Stylosantes, Centrosema, Desmodium*

# 2. ENXOFRE NA PLANTA



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

## 2.2. Deficiência

- \* Cistina, cisteína, taurina e metionina
- \* Nodulação de leguminosas
- \* Estimula a formação de sementes

Deficiência: folhas novas (elemento imóvel)  
amarelecimento e nervuras mais claras, caules e  
colmos mais finos e amarelados e crescimento  
reduzido.

## 2.2.1. Deficiência em café - Matão/SP



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO



Planta de café com deficiência de enxofre, com sintomas similares com deficiência de nitrogênio.

**1345 kg ha<sup>-1</sup>**



Planta de café que recebeu enxofre na forma de gesso.

**2386 kg ha<sup>-1</sup> (↑ 82%)**

Figura: Lott et al., 1960

# Sintoma de deficiência de nitrogênio e enxofre em folhas de café.

Deficiência de N



Deficiência de S

## 2.2.2. Sintoma de deficiência de S na cana-de-açúcar



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO



## 2.2.3. Sintoma de deficiência de S em soja



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO



Fonte: Dirceu Broch (Fundação MS)



**Sem enxofre**



**Com enxofre**



## 2.2.4. Sintoma de deficiência de S em arroz e milho



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO



### Sintomas Visuais

- Clorose (começa nas folhas mais jovens)
- Folhas pequenas
- Internós curtos
- Haste mais fina

### Sintomas Químicos

- Aumento de concentração de Hidrato de Carbono
- Menor síntese de proteínas
- Maior razão  $N_{\text{solúvel}} / N_{\text{proteico}}$



Foto: J. Zublema, Clemson Univ., USA,  
FAO / FIAC (1982)

## 2.2.5. Sintoma de deficiência de S em algodão



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO





Fonte: Zancanaro, L (2006) em Simposio de Nitrogênio e Enxofre na Agricultura – ESAL/USP

## **Sintomas Visuais**

- **Plantas pouco desenvolvidas.**
- **Folhas superiores da planta muito pequenas e de cor verde pálida**
- **Plantas pouco ramificadas e improdutivas**
- **Clorose similar a outros cultivos.**

## 2.3. Demanda S > P



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

Cultura	S kg ha <sup>-1</sup>	P kg ha <sup>-1</sup>	Produção t ha <sup>-1</sup>
Algodão	33	8	1.3
Cana-de-açúcar	58	21	100
Feijão	25	9	1
Batata	38	27	27.6
Café	27	9	2.0
Abacaxi	41	33	50.000 plantas
<b>FORAGEIRAS</b>			
Capim Colonião	45	44	23
Napier	75	64	25
Alfafa	24	21	5
<b>HORTALIÇAS</b>			
Couve flor	21	9	9.2
Repolho	64	31	84.0
Ervilha	19	8	100.000 plantas
Espinafre	6	5	22.222 plantas
Nabo	13	11	--

## 2.4. Conteúdo de S em algumas culturas



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

<b>Cultura</b>	<b>Produção t ha<sup>-1</sup></b>	<b>S total kg ha<sup>-1</sup></b>
<b>Arroz</b>	<b>8</b>	<b>12</b>
<b>Trigo</b>	<b>5,4</b>	<b>22</b>
<b>Milho</b>	<b>11,2</b>	<b>34</b>
<b>Amendoim</b>	<b>4,5</b>	<b>24</b>
<b>Soja</b>	<b>4,0</b>	<b>28</b>
<b>Algodão</b>	<b>4,3</b>	<b>34</b>
<b>Capim (Pangola)</b>	<b>26,4</b>	<b>52</b>
<b>Abacaxi</b>	<b>40</b>	<b>16</b>
<b>Cana-de-açúcar</b>	<b>224</b>	<b>96</b>

## 2.5. Causas de deficiência de S



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

- Baixo teor de enxofre disponível no solo (solos tropicais)
- Uso de fertilizantes concentrados (Fertilizantes com baixo teor ou ausência de enxofre)
- Áreas sob irrigação, calagem e adubação fosfatada
- Cultivos mais intensivos

# 3. Enxofre no solo



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

Nos solos tropicais, as quantidades de S no perfil explorado pelas raízes das plantas, são freqüentemente baixas, quando comparados aos das regiões temperadas

**Solos** { **Ultisolos - Argilosos distróficos**  
**Oxisolos - Latossolos**

# Latosolo



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO



# Argisolo



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

**Alfisol**

**Eutrófico:  $V > 50\%$**

**Ultisol**

**Distrófico:  $V < 50\%$**

- Álico:  $Al (m\%) > 50$

- Não álico :  $Al (m\%) < 50$

# 3.1. Interpretação do S contido no solo



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

S (mg dm <sup>-3</sup> )		
Classes	NH <sub>4</sub> OAc.HOAc.	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> - 500 ppm P
Muito baixo	0,0 - 5,0	0,0 - 2,5
Baixo	5,1 - 10,0	2,5 - 5,0
Médio	10,1 - 15,0	5,1 - 10,0
Adequado	> 15,0	> 10,0

Fonte: Vitti, 1989.

**Nota:** 8500 amostras      75% teores baixo e muito baixo

$$1 \text{ mg dm}^{-3} \text{ S} = 2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ S}$$

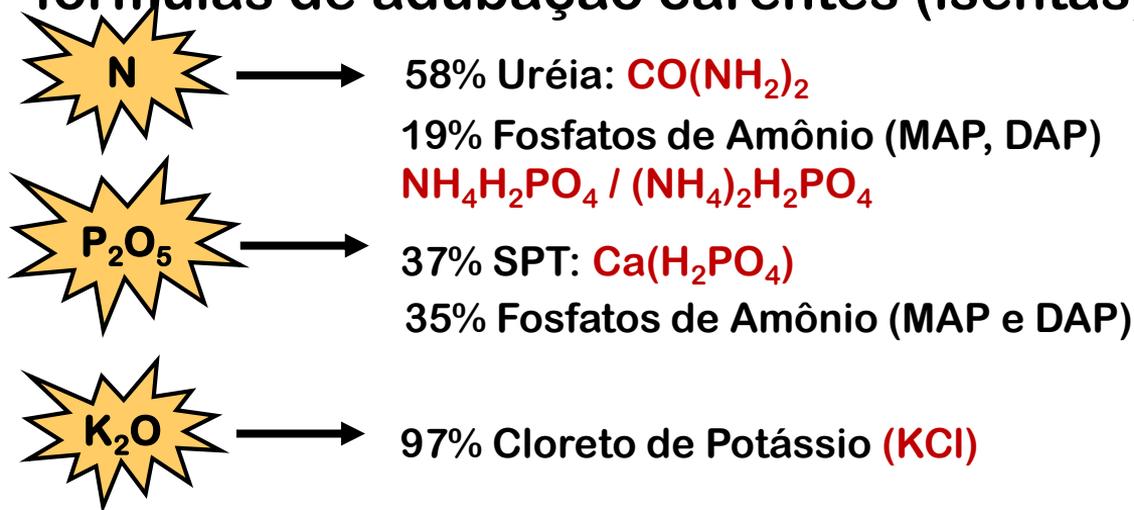
## 3.2. Causas principais da deficiência de S



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

Aumento considerável no uso de adubos simples e de fórmulas de adubação carentes (isentas) em S.



Fonte: ANDA, 2013

## 3.3. Causas secundárias da deficiência de S



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

### 3) Práticas culturais

- ◆ **Calagem** - aumento de CTC - aumenta lixiviação do  $\text{SO}_4^{=}$
- ◆ **Adubação fosfatada** - aumenta a desorção e lixiviação do  $\text{SO}_4^{=}$

Lixiviação



Adsorção (fixação)

# QUANTIDADE DE SULFATO ADSORVIDO NO HORIZONTE AP E B2 DE UM LATOSSOLO E DESORÇÃO DO MESMO.



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

Horizonte	S-SO <sub>4</sub> Adsorvido meq 100g <sup>-1</sup>	Quantidade Desorvido	% Desorvido
Ap	114	107	97
B2	179	82	46

## Efeito do fosfato na adsorção do sulfato

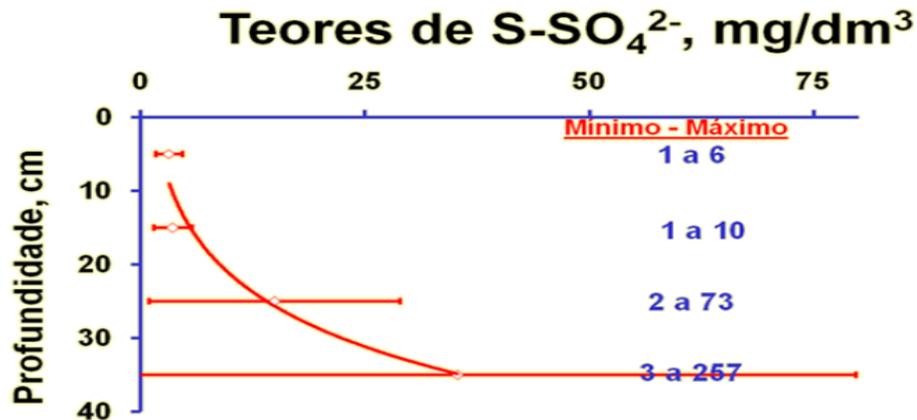
Fosfato adicionado meq 100g <sup>-1</sup>	S-SO <sub>4</sub> adsorvido
0	2,9
0,12	1,7
0,24	0,6
0,36	0

## 3.4. Distribuição do S no perfil do solo



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO



Fonte: Cantarella e Duarte (Média de 36 locais)

Devido a sua forma química, o enxofre tende a descer no perfil do solo, se acumulando nas camadas inferiores do solo, o que pode gerar uma deficiência acentuada no ciclo das culturas ou em culturas de menor perfil radicular.

- ***Redução no consumo de combustíveis fósseis***

**(SO<sub>2</sub> )**

- ***Redução no consumo de pesticidas com enxofre***
- ***Altas relações C/N e C/S***

**C/S ≥ 200/1**

- Mínimo de  $1,5 \text{ g.kg}^{-1}$  de S na Matéria Orgânica
- Relação C:S  $< 200$  → Liberação de S
- Relação C:S  $> 200$  → Imobilização de S
- Somente 2 a 4% do S-orgânico é mineralizado por ano

Fonte: FAO / FIAC (1992)

As relações C:N e C:S afetam a taxa de mineralização e Imobilização da matéria orgânica do solo e assim afetam a disponibilidade de N e S as plantas.

# Alta relação C/S de cana crua



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

Massa seca da palha de cana crua, quantidade de nutrientes e carboidratos estruturais em amostras realizadas em 1996 e na palha remanescente em 1997 (OLIVEIRA et al., 1999).

Ano	MS t/ha	N	P	K	Ca kg/ha	Mg	S	C
1996	13,9 a	64 a	6,6 a	66 a	25 a	13 a	9a	6255 a
1997	10,8 b	53 a	6,6 a	10 b	14 b	8 b	8a	3.642 b

Ano	Hemicelulose	Celulose	Lignina	Conteúdo celular	C/N	C/S	C/P
1996	3.747 a	5.376 a	1.043 a	3.227 a	97 a	695	947
1997	943 b	6.619 a	1.053 a	2.961 b	68 b	455	552

# 3. Enxofre no solo



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

- **Maior parte do S na forma orgânica;**
- **Maior reserva é a matéria orgânica do solo;**
- **Forma mineral mais abundante e absorvida é o sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), que pode ser perdida por lixiviação.**

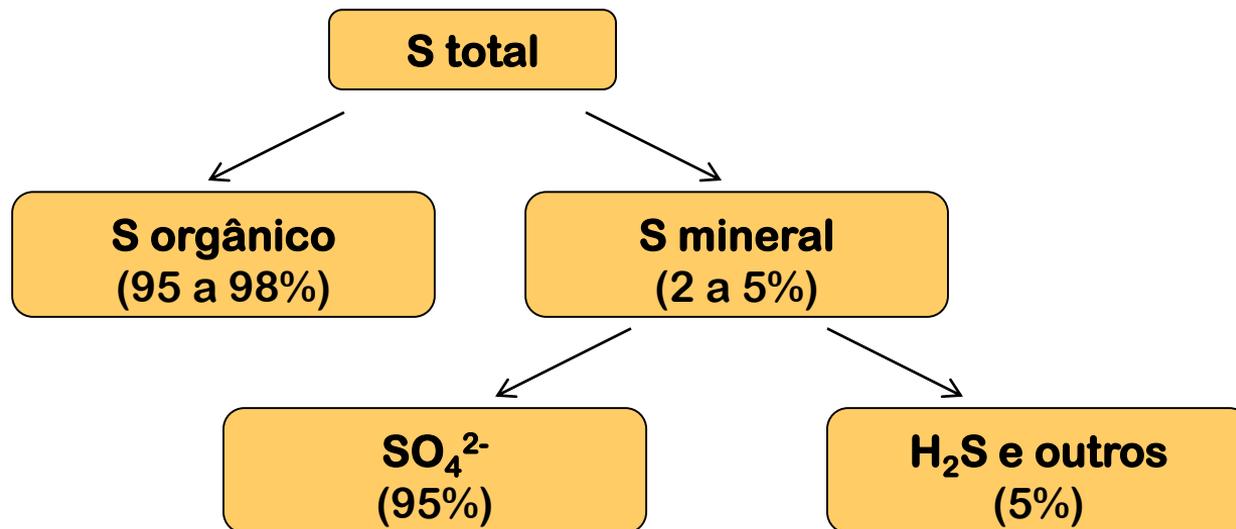
# Formas de S no solo



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

**C : N : S**  
**150 : 10 : 1,5**  
**N : S**  
**10 : 1,5**





16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

## Relação entre C-orgânico, N-total, P-orgânico e S-total nos solos de diferentes regiões

Local	C : N : P : S
EUA – Iowa	110 : 10 : 1,4 : 1,2
<b>Brasil</b>	<b>194 : 10 : 1,2 : 1,4</b>
Escócia	
- Calcários	113 : 10 : 1,3 : 1,3
- Não calcários	147 : 10 : 2,5 : 1,4
Nova Zelândia	140 : 10 : 2,1 : 1,3

Fonte: Stevenson, 1982

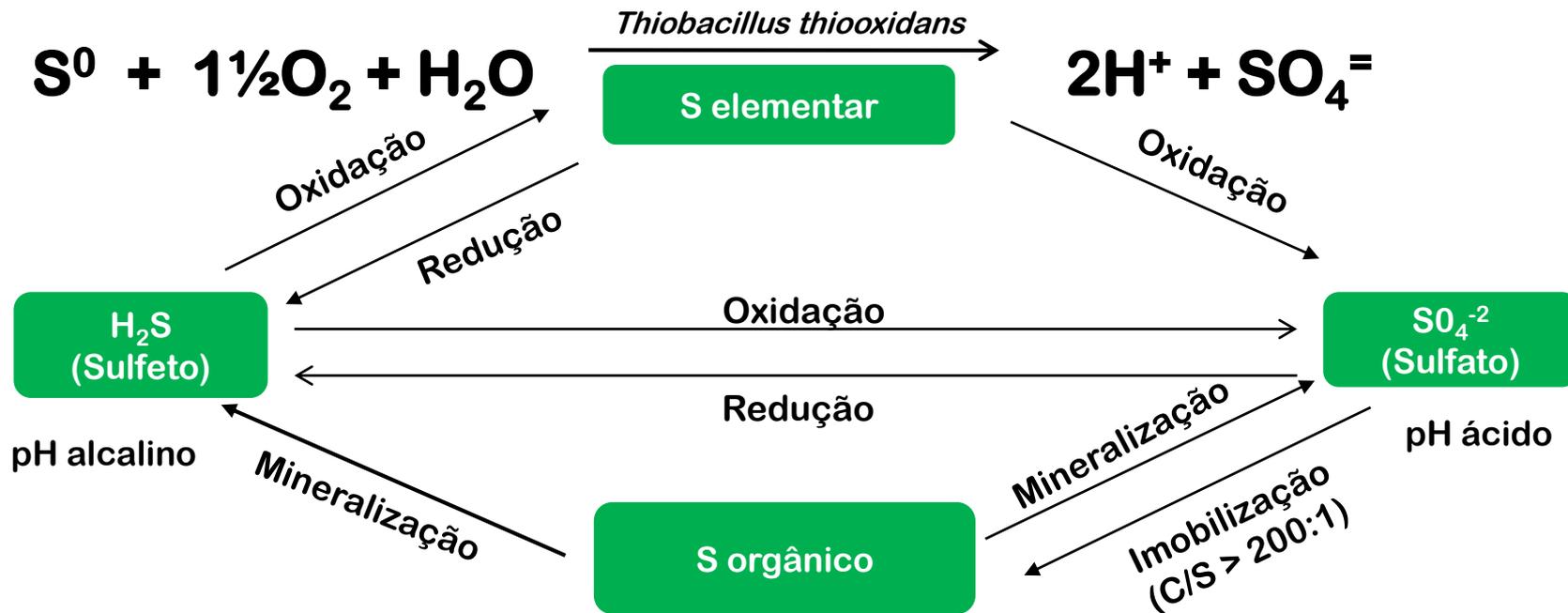
**95-98%  $S_{\text{Total}}$   $\Rightarrow$  Forma orgânica**

# Ciclo do S no solo



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO



# Oxidação do S no solo



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO



**S.N.L.C.S.:** Solos Gley Thiomórficos “Cat Clay”

Soil Taxonomy:



Solos salinos: CE > 4 mmhos a 12,5°C

Mineral amarelo → Jarosita  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

# Redução do S no solo



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

## Equação geral:



**AGENTE:** *Desulfovíbrio desulfuricans*



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

Curvas de acidificação do solo foram traçadas com base em testes de incubação com a adição de enxofre elementar (0-300-600-900-1200-1500-1800-2100-2400 e 2,700 ha<sup>-1</sup> S) em amostras de solo:

**Latossolo vermelho (LR):** pH (H<sub>2</sub>O) 6,4

**Latossolo vermelho escuro textura arenosa (LEa):** pH (H<sub>2</sub>O) 5,7

Verificou-se após 50 dias de incubação a diminuição do pH era aproximadamente linear, e as curvas de dados de ajuste pode ser feito usando as equações:

$$y(\text{LR}) = - \frac{0,1993}{300} x + 6,0212$$

$$y = \text{pH}$$

$$x = \text{kg ha}^{-1} \text{ S}$$

$$y(\text{LEa}) = - \frac{0,1906}{300} x + 5,2367$$

Fonte: VITTI et al, 1977.

## ✓ Diagnóstico (Quando?)

- **S < 15 mg dm<sup>-3</sup>**

**0 – 20 cm: Soja, Feijão.**

**20 – 40 cm: Milho, Algodão, Cana-de-açúcar.**

## ✓ Fontes Tradicionais

- **Fertilizantes Nitrogenados → Sulfato de amônio (24% S)**
- **Fertilizantes Fosfatados → Superfosfato simples (12% S)**
- **Gesso (Natural: 18% S ou Agrícola: 15% S)**

# GESSO NATURAL (Gipsita $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

Composição química	Garantias (%)
CaO	32,5
Ca	23,2
SO <sub>3</sub>	46,6
S	18,6
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,5

Fonte: Vitti (2000).

# GESSO AGRÍCOLA (FOSFOGESSO)



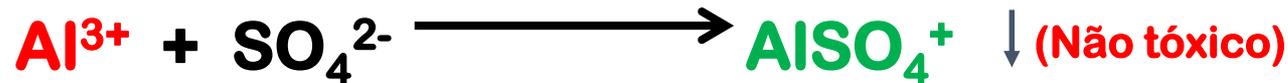
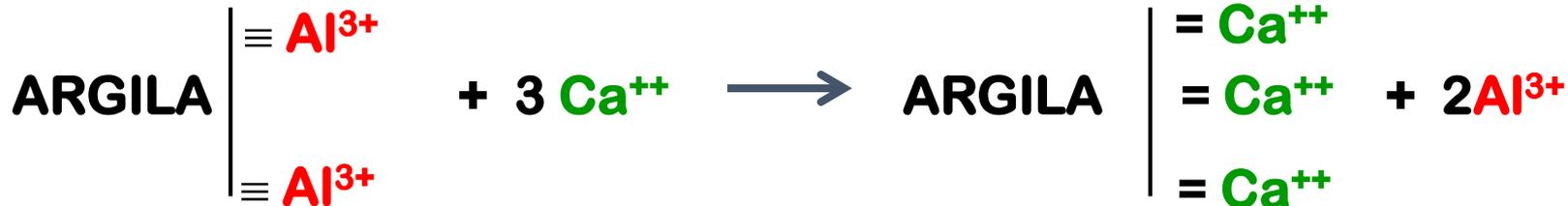
16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O.....	96,50%
CaHPO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O.....	0,31%
[Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ].3CaF <sub>2</sub> .....	0,25%
Umidade livre .....	17%
<b>CaO .....</b>	<b>26 - 28 %</b>
<b>S.....</b>	<b>15%</b>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0,75%
SiO <sub>2</sub> (insolúvel em ácidos) .....	1,26%
Fluor (F).....	0,63%
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).....	0,37%

Fonte: Vitti (2000).

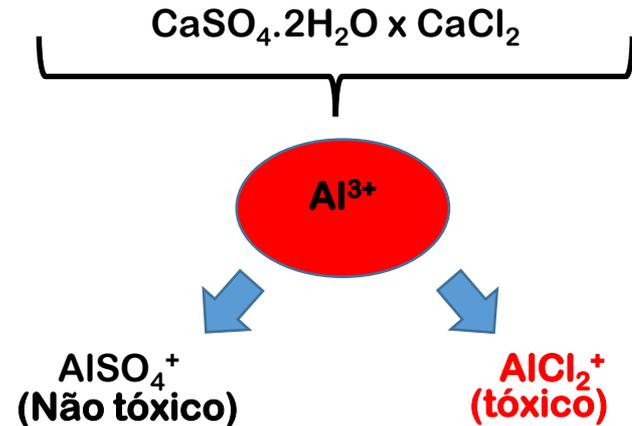
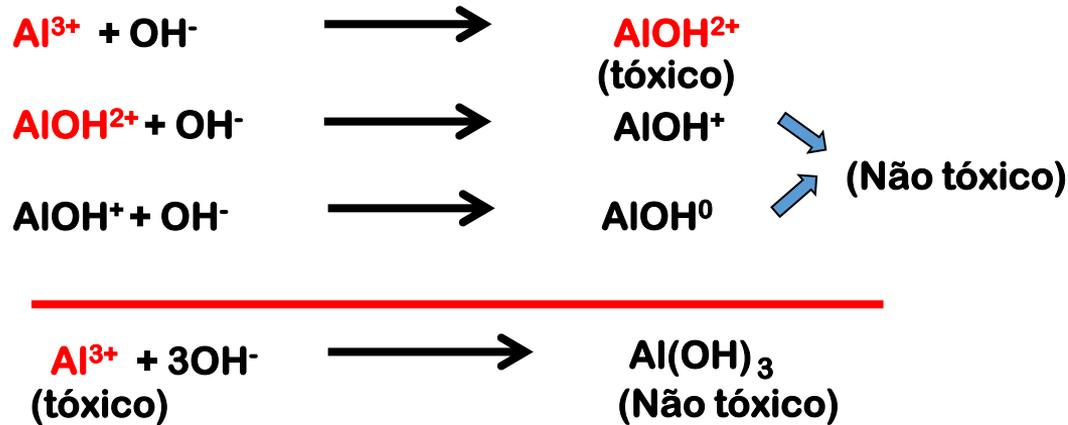
## CONDICIONADOR DE SUB-SUPERFÍCIE



# Condicionador de sub-superfície

## Mecanismos / Resultados

### Complexação do $Al^{3+}$

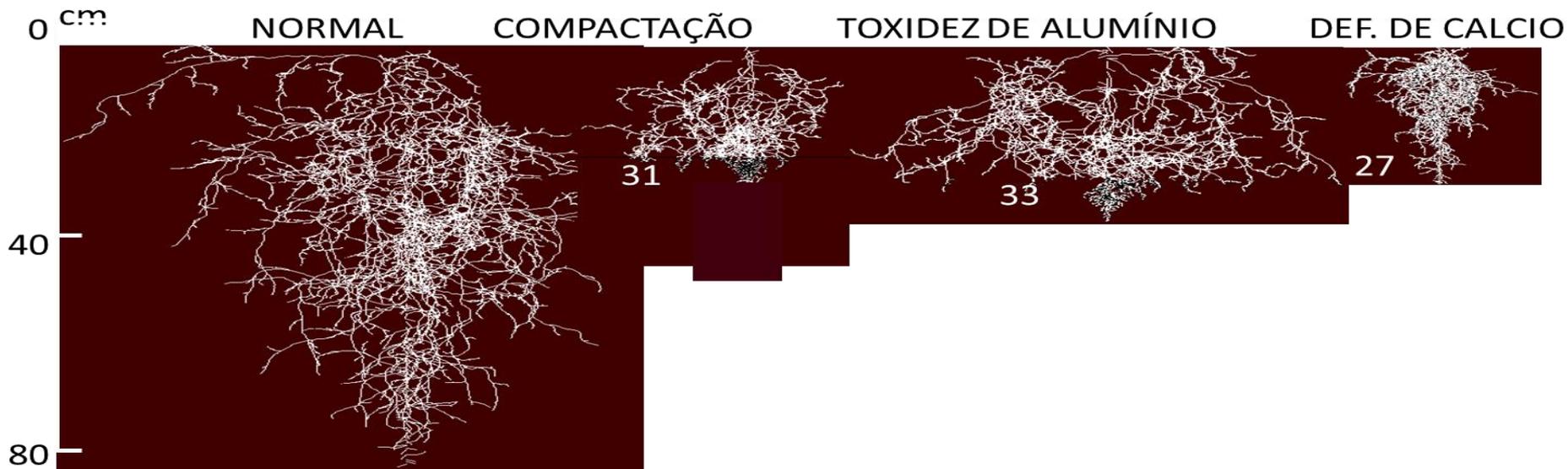


# Enraizamento



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO



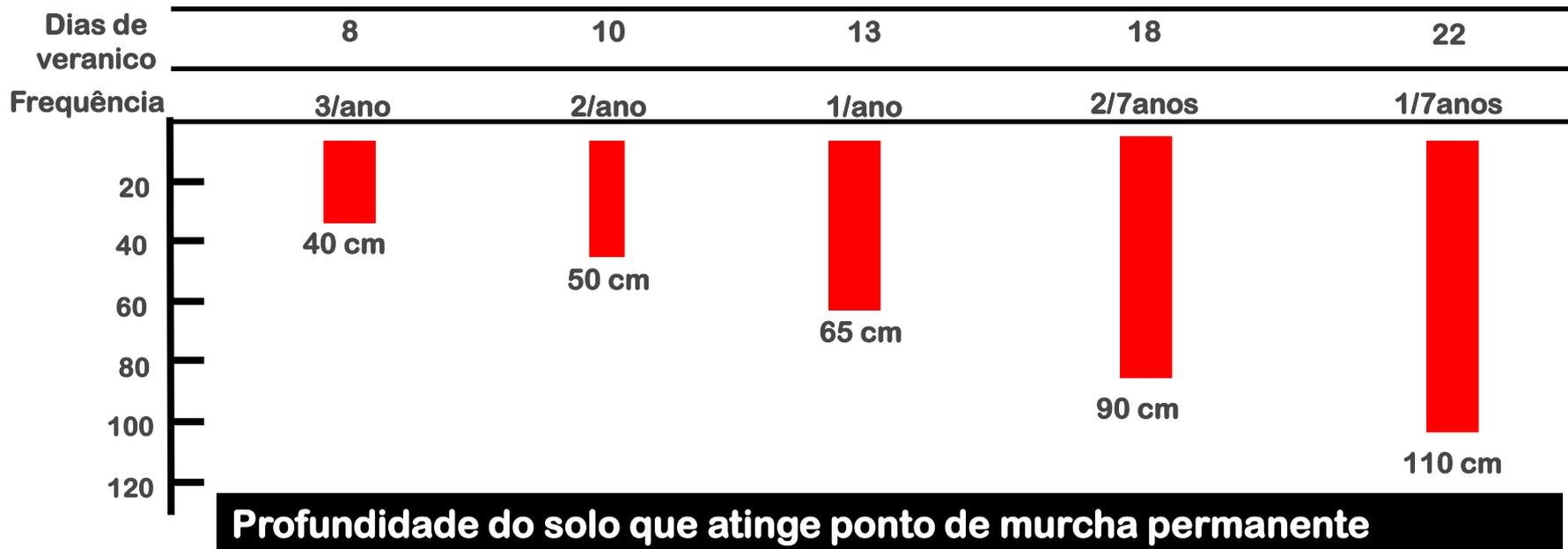
CRESCIMENTO DE RAÍZES (CD milho Fancelli & Dourado, 1998)

# Condicionador de subsuperfície



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO



## Quando?

**S < 15 mg.dm<sup>-3</sup>** (0 – 20 ou 20 – 40 cm) e não necessitou de gesso como condicionador.

## Quanto ?

S (mg dm <sup>-3</sup> )	Gesso (kg ha <sup>-1</sup> )
0-5	1000
6-10	750
11-15	500
> 15	0

# Fertilizantes com S



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

Fertilizante	Fórmula Química	Teor de Enxofre (%)
Sulfato de amônio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	24
Superfosfato simples	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	12
Gesso e fosfogesso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	15-18
Enxofre Elementar	S	>85
Sulfato de Potássio	$\text{K}_2\text{SO}_4$	18
Sulfato duplo de Magnésio e Potássio	$\text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{MgSO}_4$	22
Sulfato de Magnésio (Epsomita)	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	13
Tiosulfato de amônio	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	26
Polisulfato de K, Ca e Mg	$\text{K}_2\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	19
Kieserita	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	20



**Sulfato de amônio**



**Superfosfato simples**



# POLISSULFATO DE K, Ca e Mg

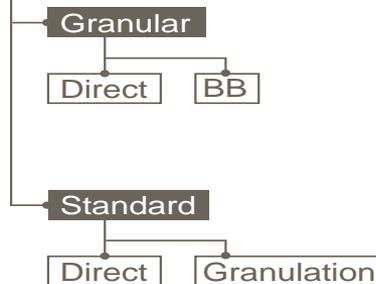
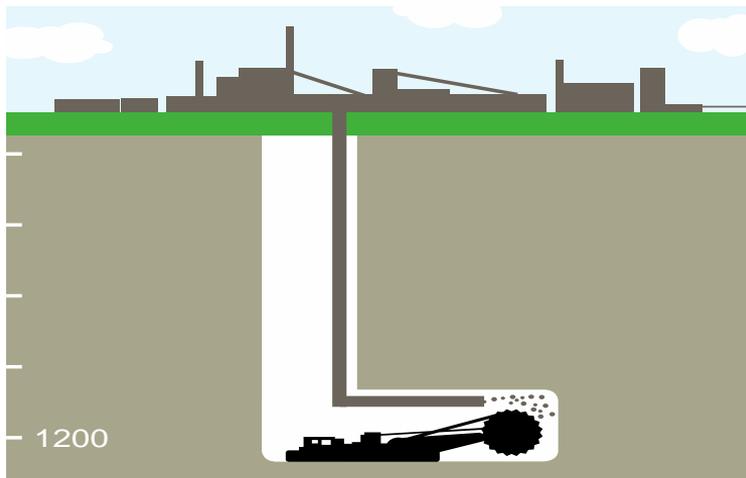


16 a 20  
outubro  
2016

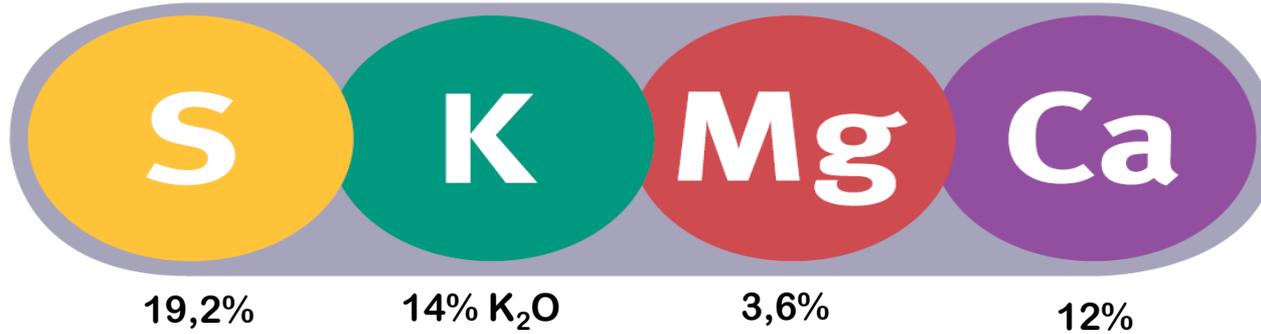
Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

Fertilizante extraído da **polyhalita**, um mineral natural, cuja fórmula química é:  $K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2(H_2O)$   
Formação durante evaporação de mares pré históricos.

## *Duas formas Físicas*



Fonte: Vale, 2016.



- Três sulfatos naturais em mesmo mineral
- Todos no mesmo grânulo
- Quatro macronutrientes = 49% em concentração
- Produto natural
- Baixa salinidade

# Outras fontes de enxofre



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

Fertilizante	% Enxofre	Densidade
Sulfonitrato de amônio <sup>(1)</sup>	7	--
Nitrosulfato de amônio <sup>(2)</sup>	12	--
Uréia + Sulfato de amônio <sup>(3)</sup>	12	--
Uréia revestida + Enxofre Elementar	10-30	--
Sulfuran <sup>(4)</sup>	4	1,26
Fosfosulfato de amônio	14-20	--
<b>Subprodutos orgânicos</b>		
Ajifer®	3,00	1,16
<b>Vinhaça</b>	<b>0,15 a 0,30</b>	<b>1,01</b>

(1) Mistura de 75% Nitrato de amônio + 25% Sulfato de amônio, 30%N

(2) Mistura de 50% Nitrato de amônio + 50% Sulfato de amônio, 27%N.

(3) Mistura de 50% Uréia + 50% + 50% Sulfato de amônio, 32%N.

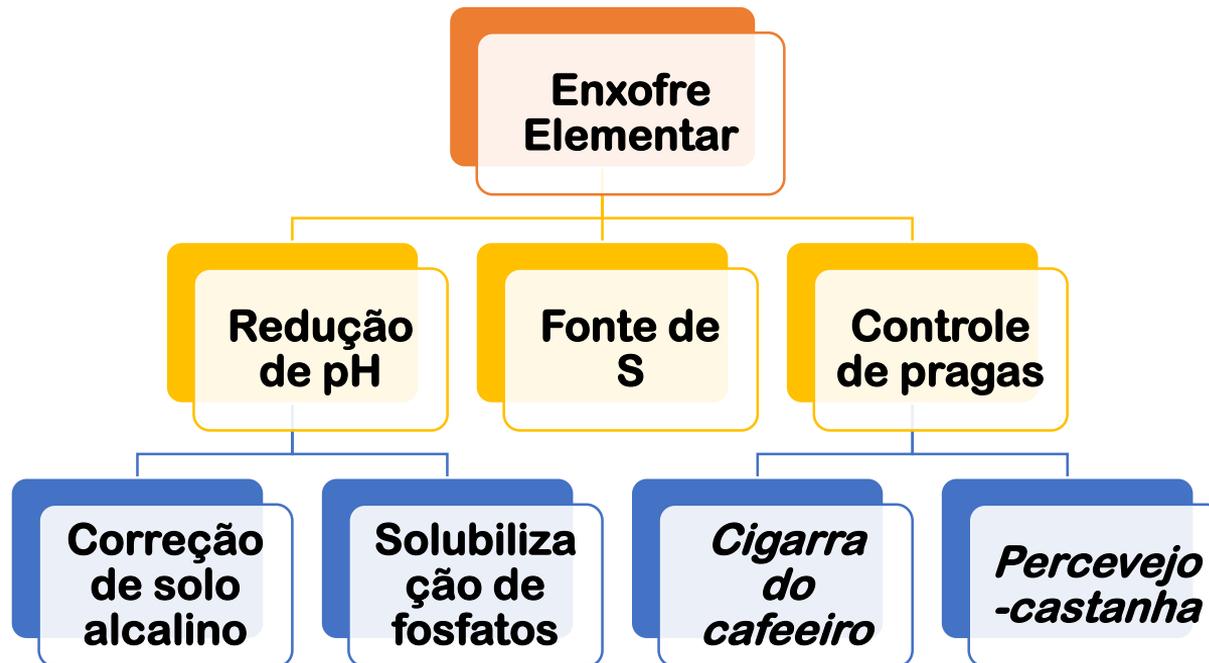
(4) Mistura de Uran + 50% Sulfato de amônio.

# Enxofre elementar



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO



**Propósito: A incorporação de S Elementar (90% S) aos fertilizantes minerais é alternativa para aumentar a concentração de S em formulações, e reduzir os custos de:**

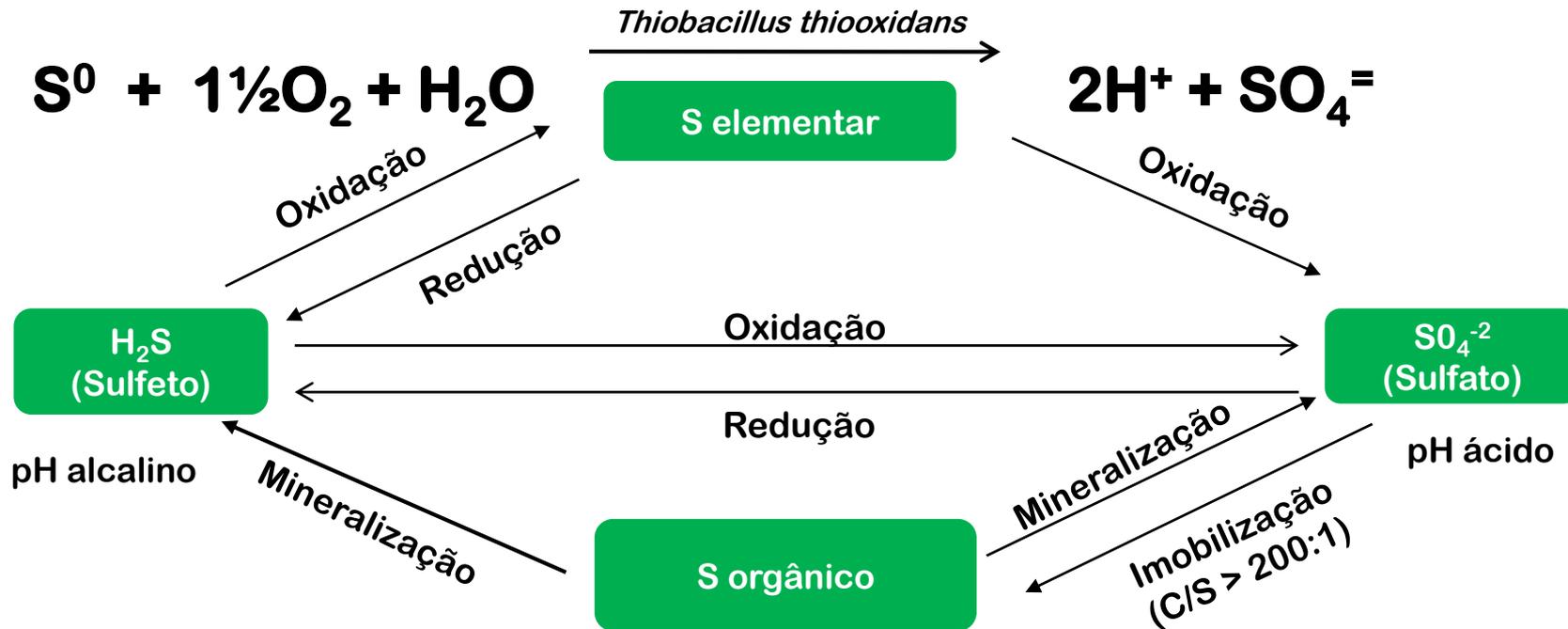
- **Produção;**
- **Transporte;**
- **Armazenamento;**
- **Aplicação.**

# Ciclo do S no solo



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

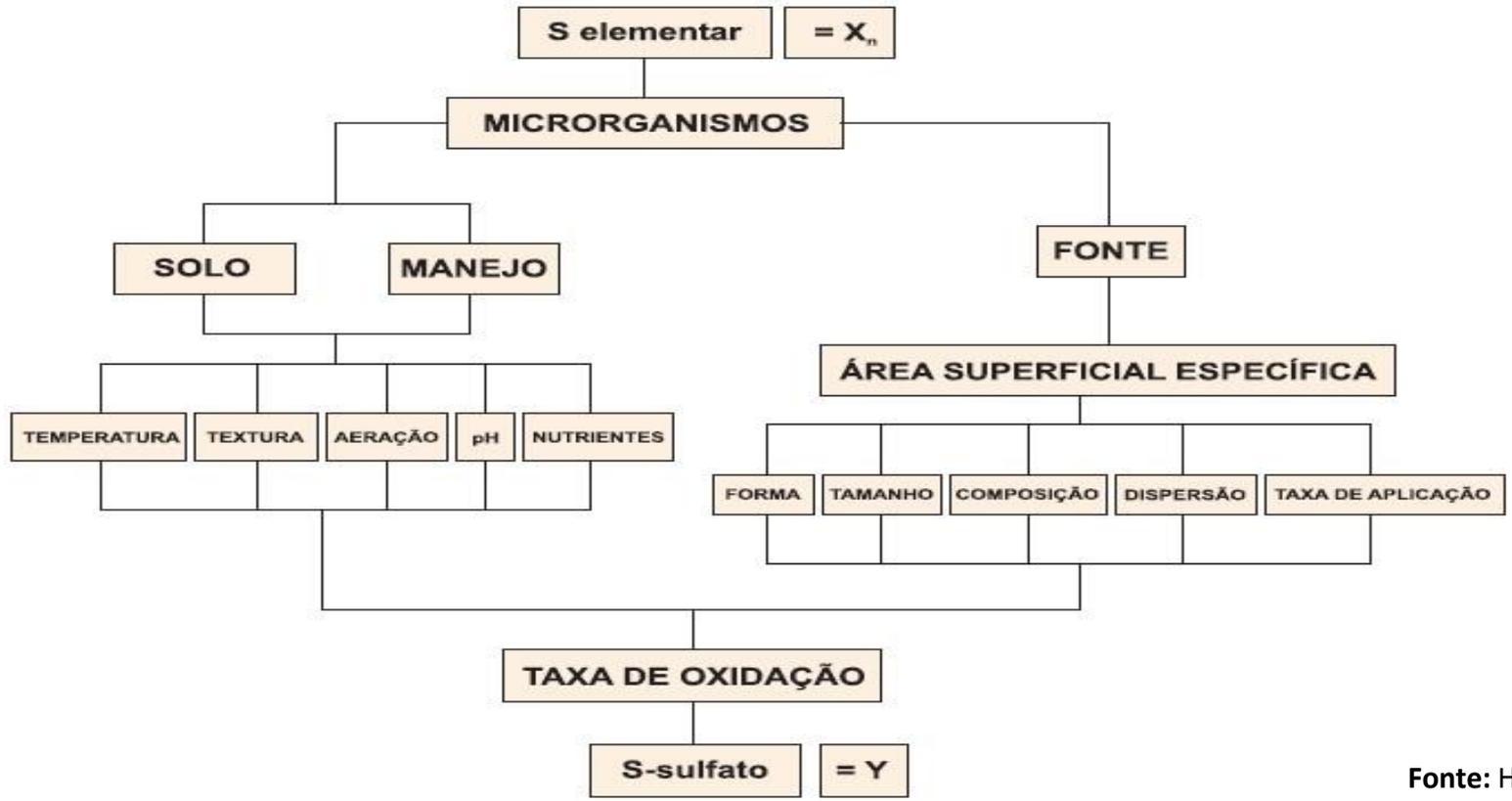


# Diagrama das relações entre variáveis independentes (x) e dependentes (y) correlacionadas que afetam a oxidação de S-elementar para S-sulfato



16 a 20  
outubro  
**2016**

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO



Fonte: Horowitz, 2003.

# Oxidação microbiológica do enxofre elementar



Bactérias

Quimioautotróficas

(*Thiobacillus*)

Microrganismos

heterotróficos



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

## (2) Microrganismos heterotróficos

Bactéria

Actinomicetos

Fungos

*Bacillus levis*  
*Micrococcus spp*

*Streptomyces*

- *Absidia glauca*
- *Fusarium solani*
- *Penicillium decumbens*

**Ex.:**

Organismo	País	$\mu\text{g S}^0 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$
-----------	------	---

Thiobacillus Austrália 50

Heterotróficos Canada 05

Fonte: Watkinson, 1989; Bettany, 1987.

# Temperatura



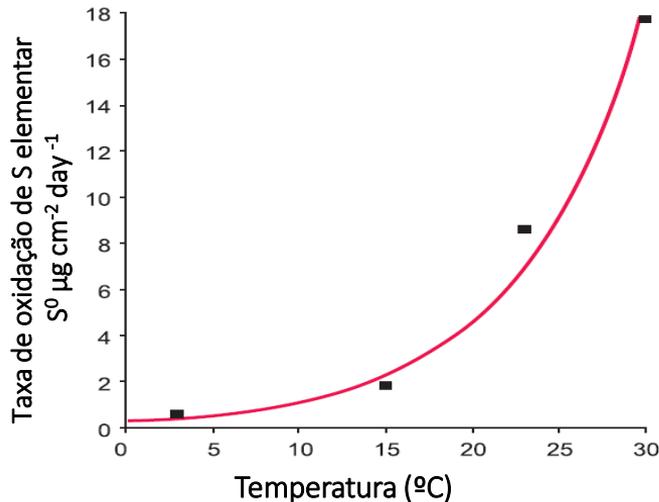
16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

a) EUA (4 solos) → Alta taxa de oxidação de 25 a 30°C

Fonte: DENG; DICK, 1990.

b) Canadá (6 solos) → Temperatura x taxa de oxidação – relação exponencial



Fonte: adaptado de JANZEN e BETTANY (1987c).

Figura. Relação de oxidação do S elementar e temperatura.

# pH do solo



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

Correlação positiva



Taxa de oxidação do S  
Elementar

Fatores:

- $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ : **nutrientes**
- $\uparrow$  CTC  $\uparrow$  Dose: **maior capacidade tampão  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .**

Fonte: NOR; TABATABAI, 1977.

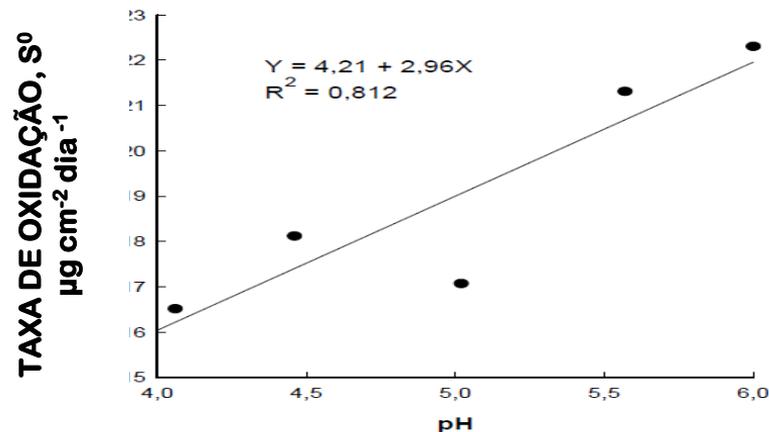


Figura. Relação entre o pH inicial e a taxa de oxidação em Latossolo Vermelho, 90 dias após da incubação do S elementar.

Fonte: HOROWITZ, 2003.

# Tamanho das partículas de S elementar



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO



**Tamanho da Partícula**



**Taxa de Oxidação**

<b>Tamanho da Partícula (mm)</b>	<b><math>\mu\text{g S}^0 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}</math></b>
<0,048	21,3
<0,125	3,7

Fonte: DONALD; CHAPMAN, 1998.

Fonte: WAINGWRIGHT, 1984.

## (2) Tamanho da partícula de S elementar



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

### Nova Zelândia (Região seca com alfalfa)

Tamanho da partícula mm	Oxidação ano
<0,15	90% (1 ano)
0,25 a 0,50	3 anos
1,00 a 2,00 <sup>(*)</sup>	Longo período

(\*) Não usado em fertilizantes

Fonte: BOSWELL, 1997.

- Segregação em mistura com fontes granuladas;
- Dificuldades de aplicação localizada, por falta de mecanismos eficientes para aplicadores adubação com fertilizantes em forma física em pó;
- Riscos para os operadores nas aplicações em cobertura, devido ao contato com a pele humana provoca reações de oxidação (irritações e queimaduras);
- É inflamável e pode causar incêndio e explosão.

## (5) Dispersão do S elementar no solo



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

Dispersão inadequada de partículas de S elementar  
reduzem a taxa de oxidação.



Grau de dispersão (até 1g de S elementar em 50g solo)

Baixa taxa de oxidação



Acumulação excessiva de produtos  
de oxidação (tóxicos e ácidos)



Caráter hidrofóbico das partículas

### Resumindo:

- Mínimo grau de dispersão (1g Elemental S in 1000g soil);
- Incorporação no solo
- Alta oxidação comparada a aplicação em partículas;
- Uso prévio de calcário

## Garantias mínimas

### Fertilizantes minerais simples com enxofre

Legislação Brasileira: Instrução normativa n.º 5,  
23/02/2007

<b>Enxofre</b>	<b>95% S</b>	<b>Determinado como enxofre total. Especificação granulométrica: <b>Pó.</b></b>	<b>Extração de depósitos naturais de enxofre ou da rocha pirita, sub-produto de gás natural, gás de refinaria e fundição, do carvão. Podem ser obtidos também do sulfato de cálcio ou Anidrita.</b>
----------------	--------------	---	---

➤ **Processo desenvolvido no Canadá, na década de 1980.**

**1. Usa bentonita como argila expansiva, fundido com enxofre elementar;**

**2. O fertilizante é processado de modo que a forma física facilita a aplicação. Dispersão adequada de partículas.**



### **Processo descrito por Boswell et al. (1988):**

- Presença de umidade no solo; “Pastilhas” de enxofre elementar se desintegram devido a presença de bentonita;
- Bentonita, por ser uma argila expansiva, em contato com a umidade do solo, tem seu volume aumentado cerca de 20 vezes;
- Exposição de grande área de superfície de contato das partículas para ação da atividade microbiológica.

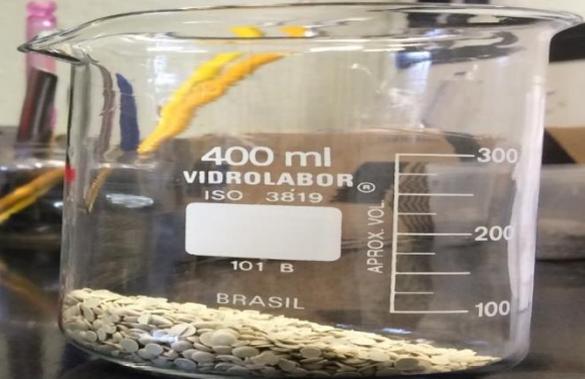
Fonte: GAPE (2015)



50 g de S sem bentonita

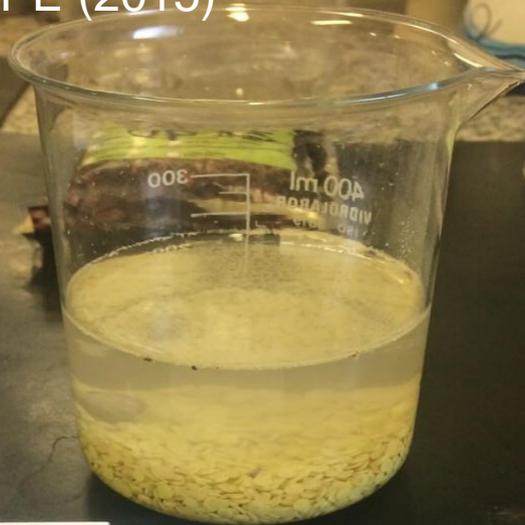


200 ml de água



50 g de S com bentonita

Fonte: GAPE (2015)



**Enxofre sem Bentonita**

**15 minutos**



**Enxofre com Bentonita**

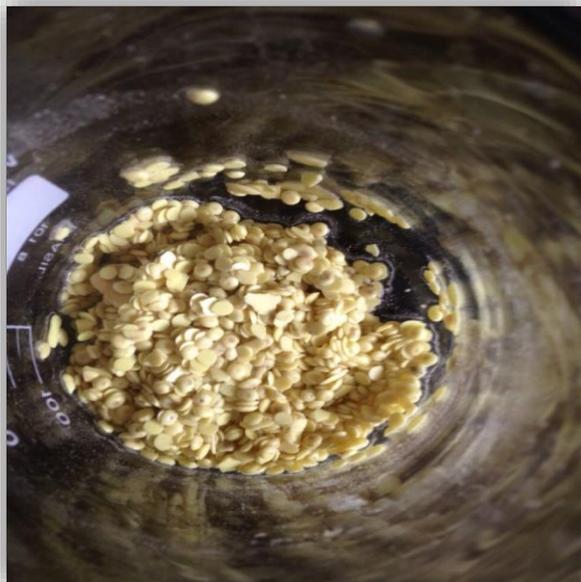
**15 minutos**

Fonte: GAPE (2015)



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

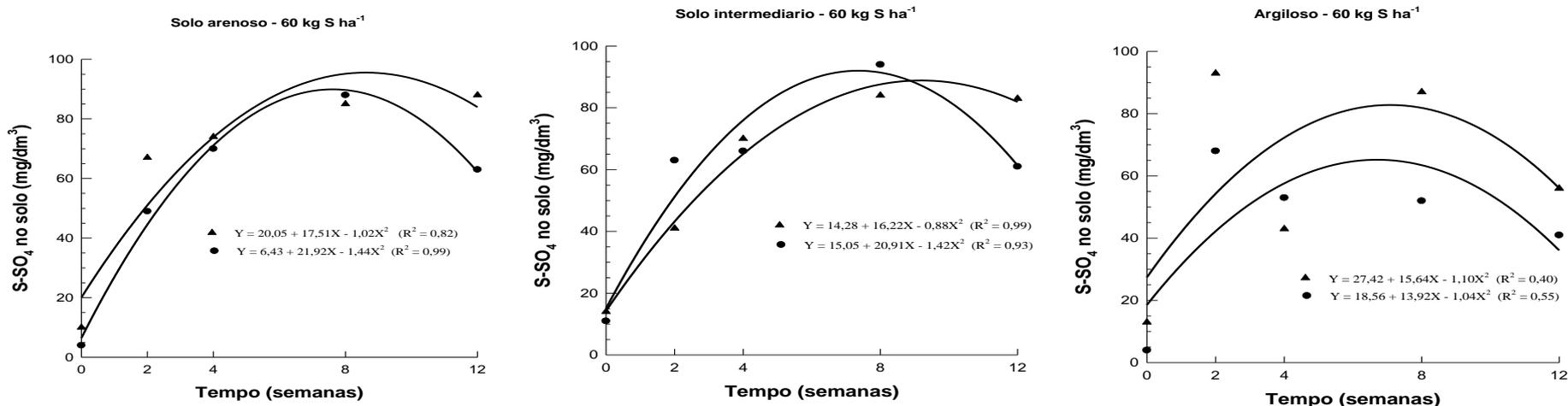


**Sem Bentonita**



**Com Bentonita**

## Curvas de oxidação: S<sup>0</sup> x S<sup>0</sup> + bentonita



Teor de S (mg.dm<sup>-3</sup>) em 3 solos estudados na dose de 60 kg.ha<sup>-1</sup> de S dos produtos Sulfurgran(▲) e S elementar(●).

# Produtividade de soja influenciada por fontes de S (média de 3 anos agrícolas)



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

Tratamento	Fonte de enxofre	Média
1	Controle	2877,0 b*
2	Superfosfato simples	3147,5 a
3	MAP Sulfurado + S elementar	3383,5 a
4	S elementar + bentonita	3178,0 a
5	S elementar	2973,5 b
6	Gesso granulado	3247,5 a
7	Fosmag 509 M6	3366,0 a
8	Gesso agrícola à lanço	3350,5 a

Fonte: Broch et al, 2011

## Enxofre Elementar Pastilhado com Argila Expansiva ( $S_0$ )



Em média 4 vezes maior que a aplicação de gesso

- Áreas extensas
- Volume de aplicação
- Volume de armazenagem
- Distribuição
- Faixa de aplicação
- Dose: 40 a 50 kg ha<sup>-1</sup> (**36 a 45 kg ha<sup>-1</sup> S**)

O gesso agrícola, é insubstituível como condicionador de subsuperfície!

# Incorporação em fertilizantes fosfatados granulados

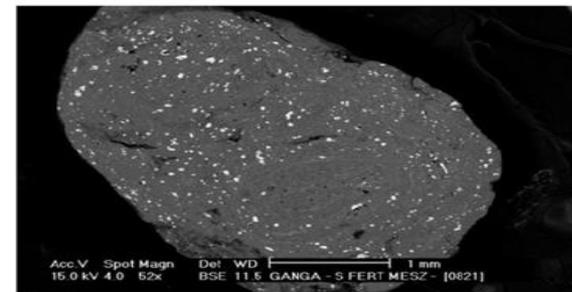
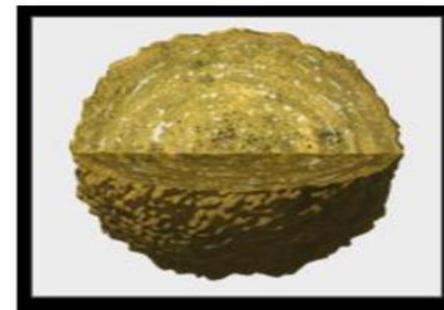


16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

## $S^0/SO_4 = MAP$ com enxofre elementar

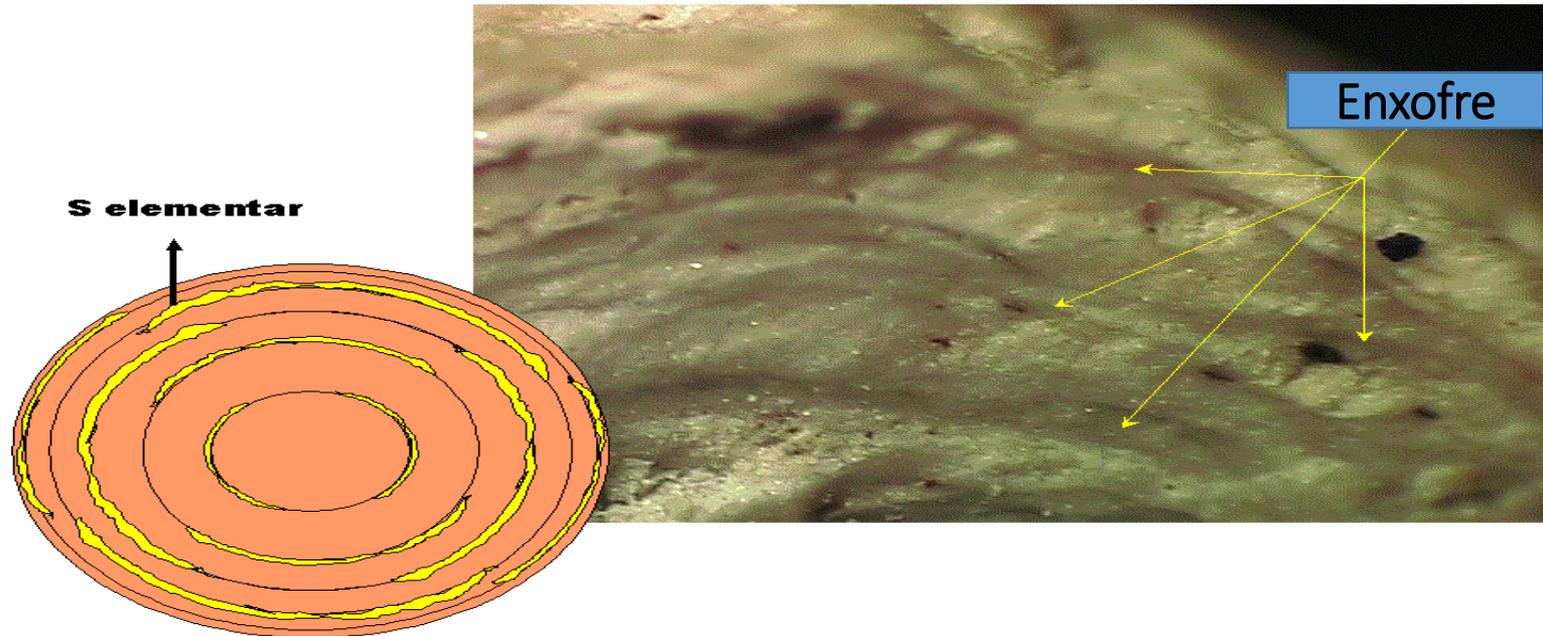
- Mistura de sulfato com S elementar em todo o grânulo;
- Aumenta o teor de S sem afetar o teor de P
- Fornece rápida liberação de N e P e lenta liberação de S;
- Diminuição do pH do solo em torno dos grânulos, pode aumentar a solubilidade de P em solos neutros / alcalinas.



Fonte: Mosaic Fertilizantes.

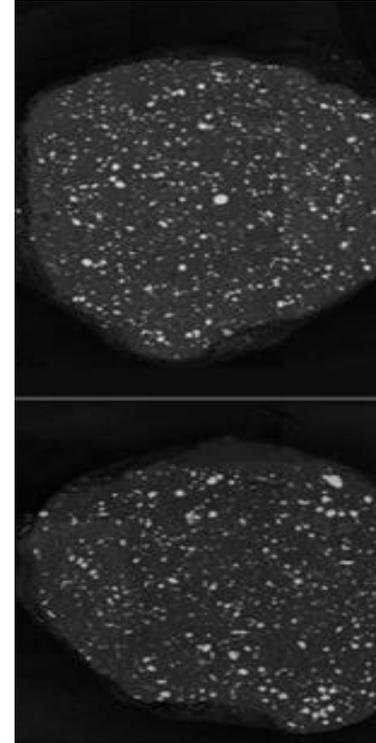
- **Fertilizante granulado, fornece N, P e S no mesmo grânulo**  
**Fórmula 13-33-00 + 15% S**  
**Alta concentração de nutrientes**
- **Metade do enxofre na forma de sulfato e a outra metade na forma elementar.**  
**Fósforo solúvel em água**

## MICROFOTOGRAFIA DO CORTE TRANSVERSAL DO MAP (15% S) - GRANULADO (40X)



Fonte: Mosaic Fertilizantes.

- **Incorpora tanto sulfato quanto enxofre elementar em fertilizantes**
- **Incorporar ambas as formas, fundidas e sólidas, de enxofre elementar em fertilizantes**
- **Partículas de tamanho de micron (5-200 micrómetros) de S elementar combinado com MAP, DAP, TSP e NPK do (processo de moagem úmida + aditivo).**
- **TSP com 12% de enxofre micronizado: teor de enxofre idêntico ao SSP, mas com 2-2,5 vezes o teor de  $P_2O_5$ .**



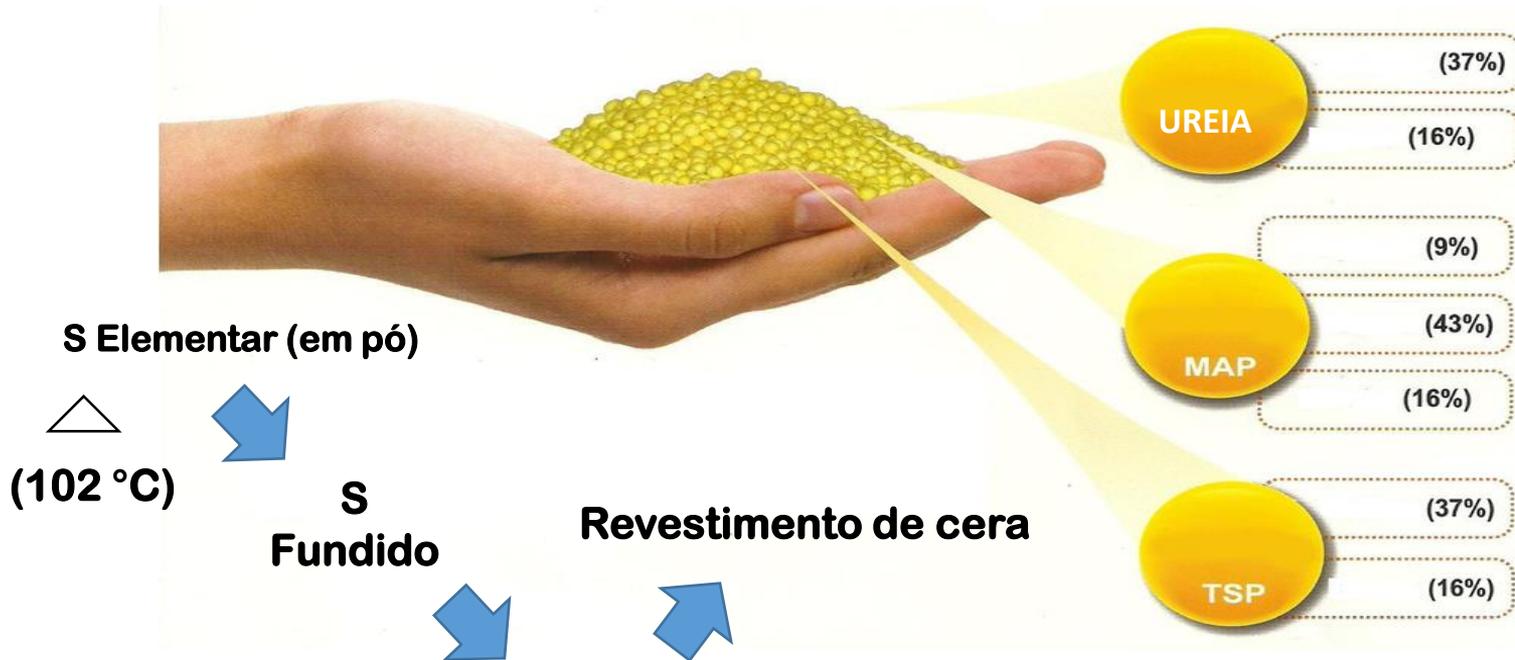
Fonte: Shell

# Ureia, MAP e TSP revestidos

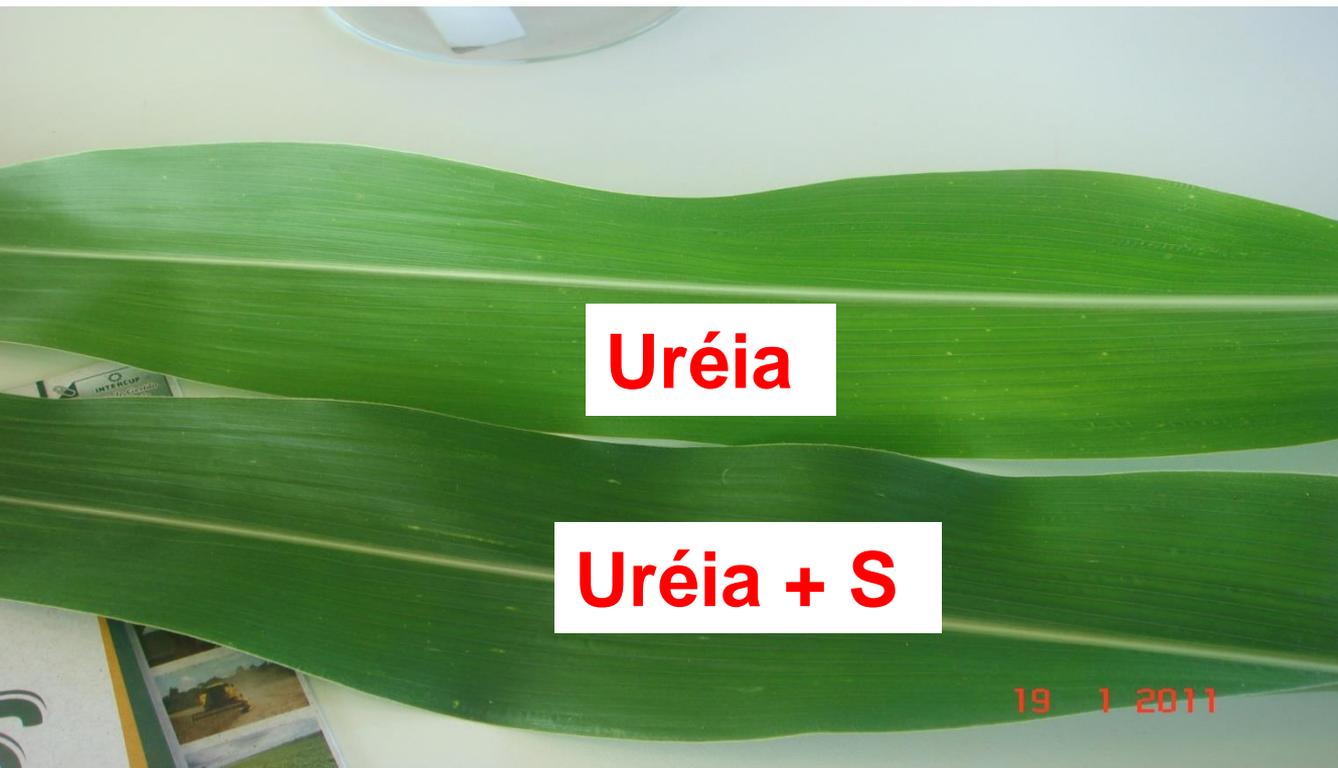


16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO



Fonte: Fertilizantes Heringer



**Palotina - PR**

# Conclusão



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

- Deficiência de enxofre no solo e, conseqüentemente, na planta é um fato;
- Deficiência de S na planta afeta produtividade, qualidade da proteína e resistência a fatores bióticos e abióticos;
- O consumo de plantas deficientes em cisteína e metionina resultará em doenças irreversíveis no animal e no homem como escorbuto, hemofilia, cegueira noturna, dentre outras.
- A possibilidade de suplementar enxofre através de S elementar isolado ou associado a fontes de nitrogênio e fósforo é uma alternativa viável do ponto de vista técnico e econômico;
- Em solos tropicais, fatores climáticos não são limitantes para a oxidação do S elementar.
- Fontes comerciais de S<sup>0</sup> diferem em taxa de oxidação influenciando na escolha de produtos adequados para fornecer S disponível para as plantas ou acidificar solos alcalinos
- É essencial o uso de fertilizantes de qualidade, principalmente em granulometria, grau de dispersão, tamanho e formato de partícula para manter a qualidade de aplicação.



16 a 20  
outubro  
**2016**

Centro de  
Convenções de  
GOIÂNIA - GO

**gcvitti@usp.br**

**gape@usp.br**

**[www.gape-esalq.usp.br](http://www.gape-esalq.usp.br)**

**Tel: (19) 3417-2138**

**OBRIGADO**