



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”



Fertilizantes com S e micronutrientes: obtenção, características e manejo da adubação

Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti

Eng^o Agr^o Eduardo Sgarbiero

Piracicaba, 05 de novembro de 2020.

Fertilizantes e adubação sulfatada

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

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

16

S

Enxofre

32,065

Não metal

Série dos Lantanídeos

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

Série dos Actinídeos

87 Ac Actínio	88 Th Tório	89 Pa Protactínio	90 U Urânio	91 Np Neptúlio	92 Pu Plutônio	93 Am Americó	94 Cm Cúrio	95 Bk Berquétio	96 Cf Califórnia	97 Es Einsteinio	98 Fm Férmio	99 Md Mendelévio	100 No Nobélio	101 Lr Laurêncio
----------------------------	--------------------------	--------------------------------	--------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	--------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	---------------------------	-------------------------------	-----------------------------	-------------------------------

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

Introdução

Legislação brasileira

Decreto 4 de julho, 2006

Capítulo 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 SO₃**

*** 1 S = 2,5 SO₃**

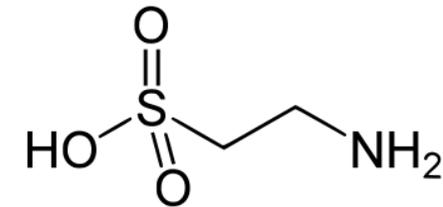
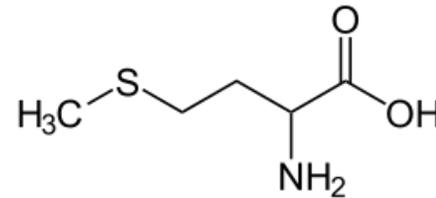
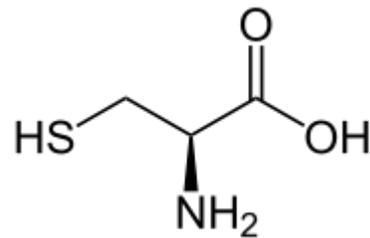
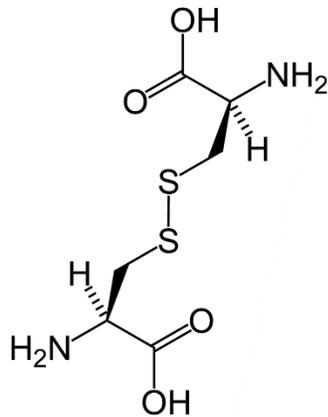
Enxofre na planta

Função

Essencial para a formação de todas as proteínas na planta
Componente de aminoácidos

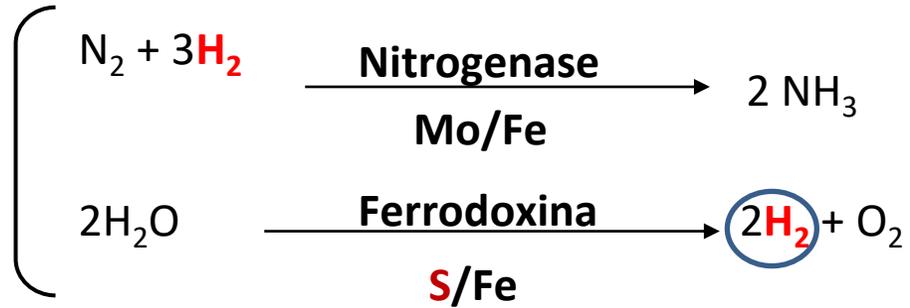
Cistina : Cisteína : Metionina : Taurina

Aminoácidos essenciais

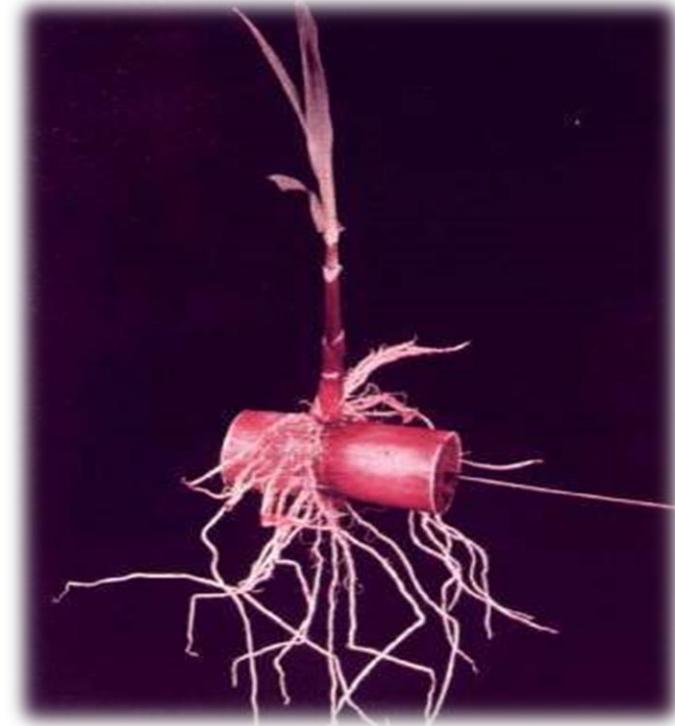


Metabolismo do Nitrogênio

Fixação de N₂



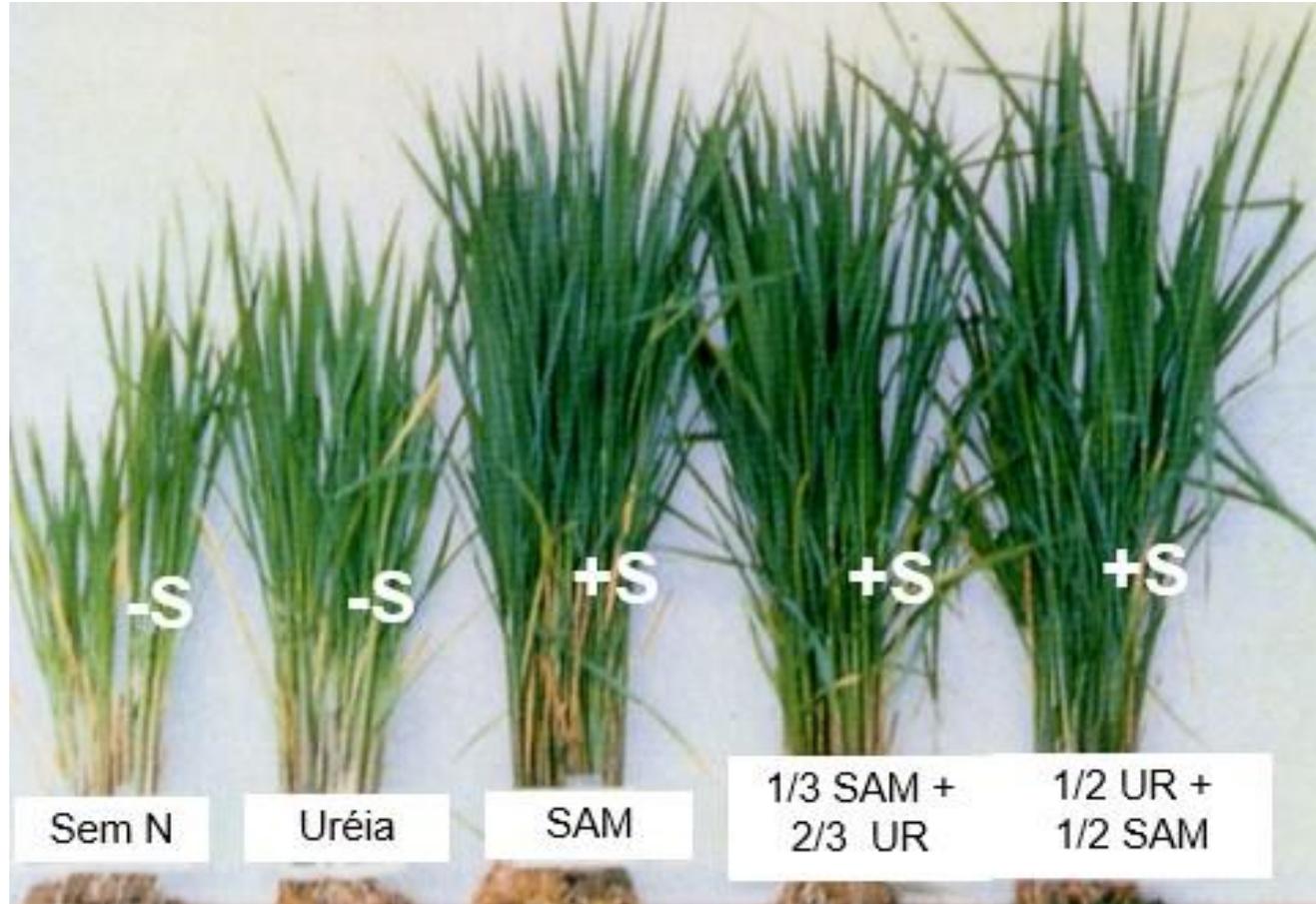
Metabolismo do N



Vitti & Malavolta, 1982

Grupos Sulfidrilos (-SH) e Dissulfeto (-S-S) aumentam a resistência ao frio e à seca

Função do enxofre na planta: relação N/S 12-15/1



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 **relação N/S 12-15/1**

Formação de Glicosídeos

Alho
Cebola
Mostarda

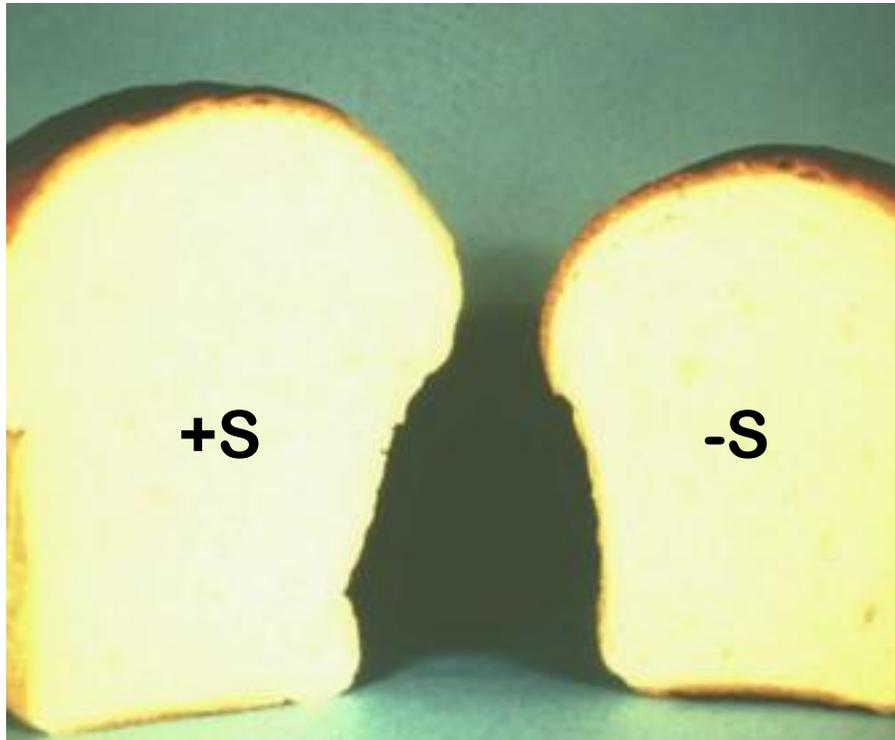
} **Bissulfeto de Alila**
(CS₂)

Ativação de enzimas proteolíticas

Ficinase - Figo
Bromelina – Abacaxi
Papaína - Mamão

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

Trigo



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

Tratamento Pastagem	Matéria Seca (kg ha⁻¹)	Proteína Bruta (%)	Taxa de lotação (UA ha⁻¹)	kg peso vivo ha⁻¹ 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***

Deficiência em café - Matão/SP



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

1345 kg ha⁻¹

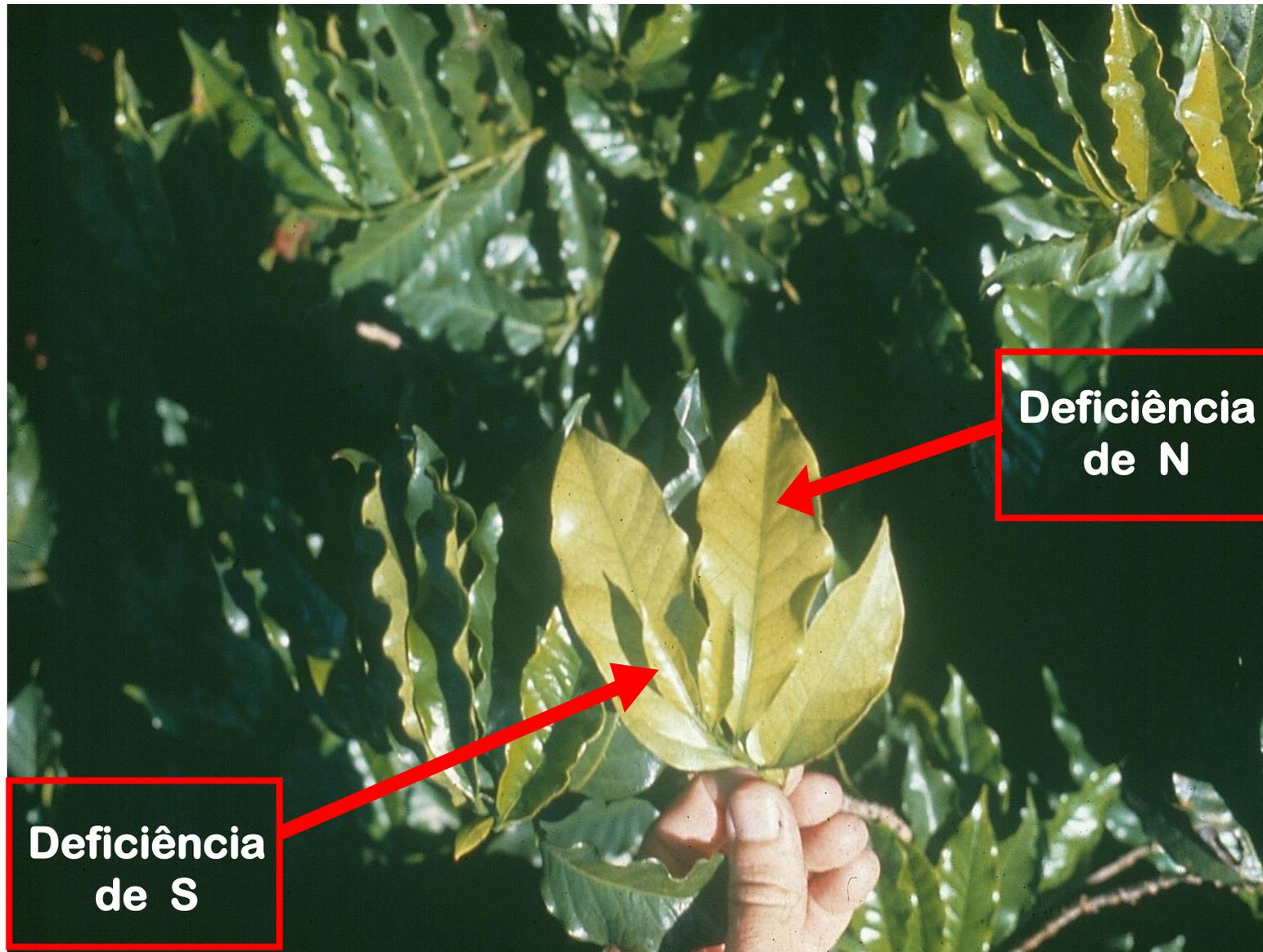


Planta de café que recebeu enxofre na forma de gesso.

2386 kg ha⁻¹ (↑ 82%)

Figura: Lott et al., 1960

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



Sintoma de deficiência de S na cana-de-açúcar



Sintoma de deficiência de S em soja



Fonte: Dirceu Broch (Fundação MS)

Deficiência de S em soja



Sem enxofre



Com enxofre



Fonte: Vitti e Malavolta, 1984

Sintoma de deficiência de S em arroz e milho



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

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 $N_{\text{solúvel}} / N_{\text{proteico}}$



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

Exigências de S em algumas culturas

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

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



Classes	S (mg dm ⁻³)	
	NH ₄ OAc.HOAc.	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ - 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

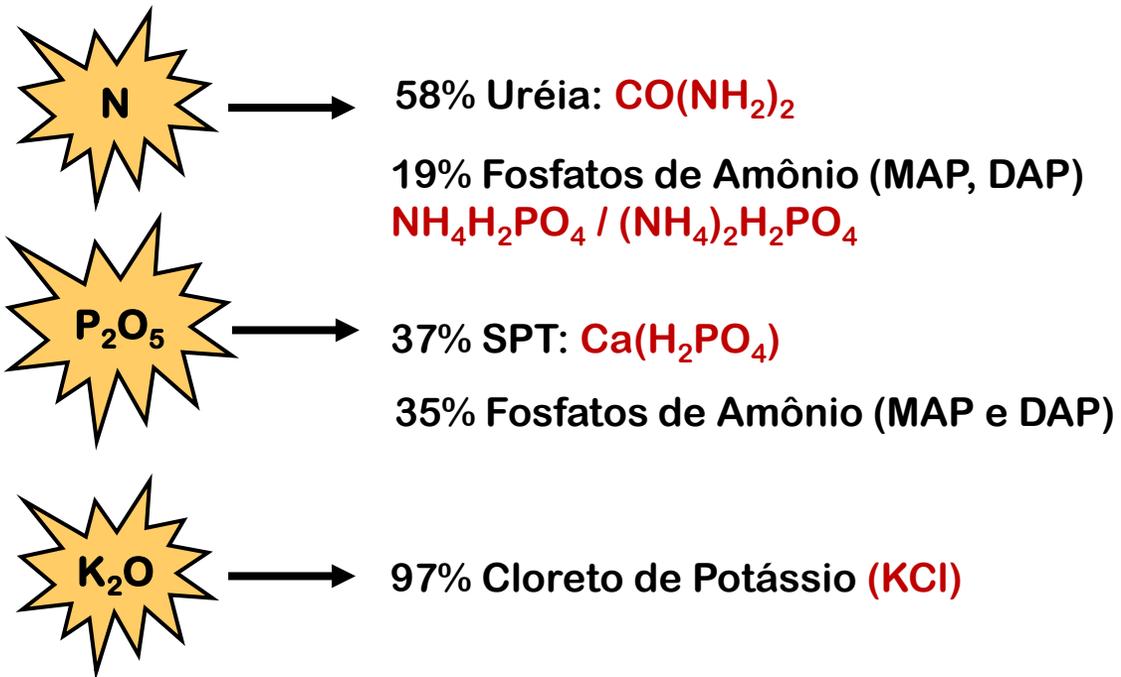
Fonte: Vitti, 1989.

Nota: 8500 amostras 75% teores baixo e muito baixo

1 mg dm⁻³ S = 2 kg ha⁻¹ S

Causas principais da deficiência de S

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



Fonte: ANDA, 2013

a) 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 DESSORÇÃO DO MESMO.

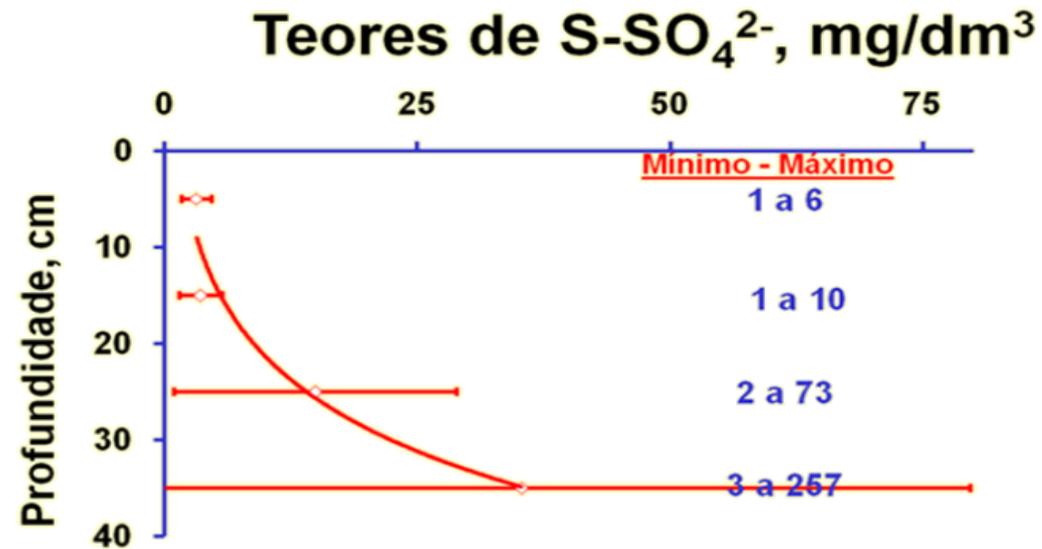
Horizonte	S-SO ₄	Quantidade	%
	Adsorvido	Dessorvido	Dessorvido
	meq 100g ⁻¹		
Ap	114	107	97
B2	179	82	46

Efeito do fosfato na adsorção do sulfato

Fosfato adicionado	S-SO ₄ adsorvido
meq 100g ⁻¹	
0	2,9
0,12	1,7
0,24	0,6
0,36*	0

* (200 kg ha⁻¹ P₂O₅)

Distribuição do S no perfil do solo



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.

b) Redução no consumo de combustíveis fósseis



c) Redução no consumo de pesticidas com enxofre

d) Altas relações C/N , C/S e C/P da matéria orgânica

$$C/S \geq 200/1$$

- **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.

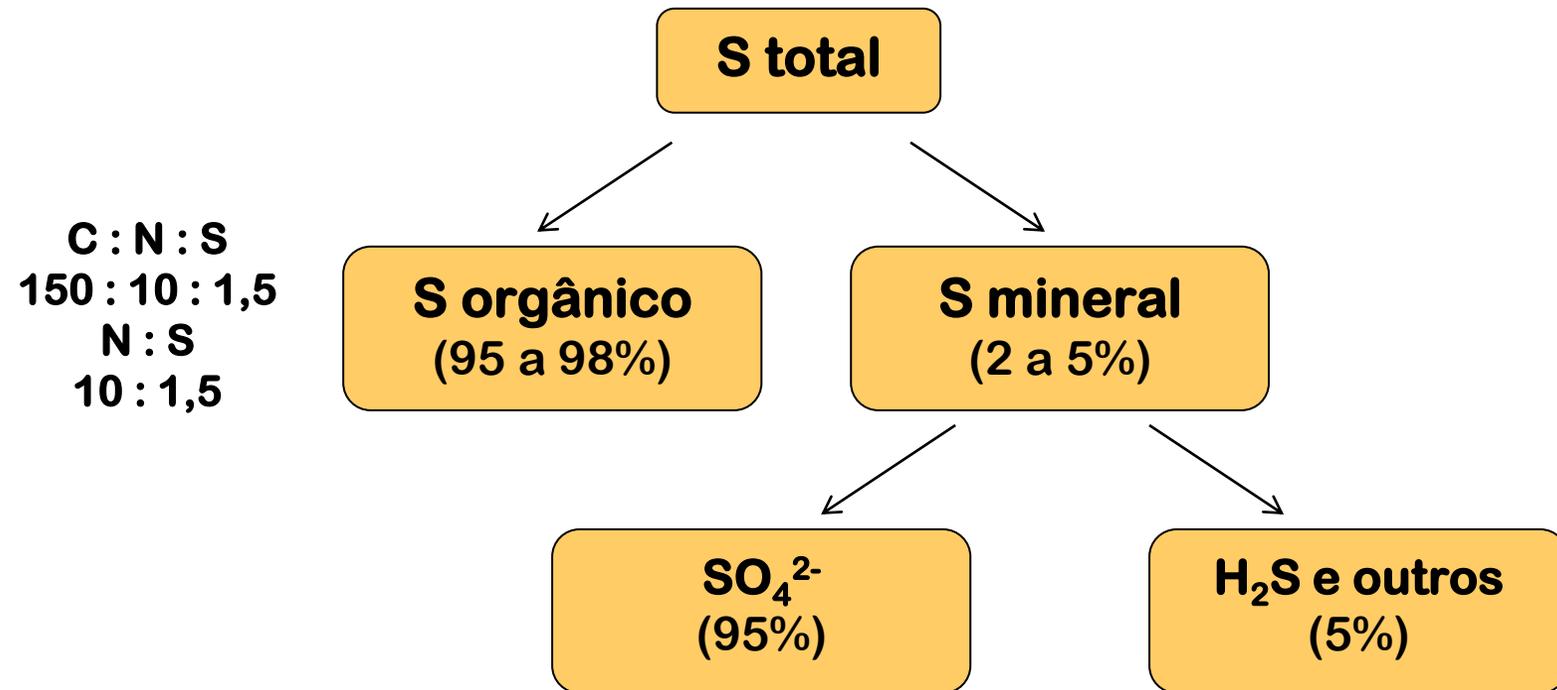
Alta relação C/S de cana crua

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
kg/ha							
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

Formas de S no solo



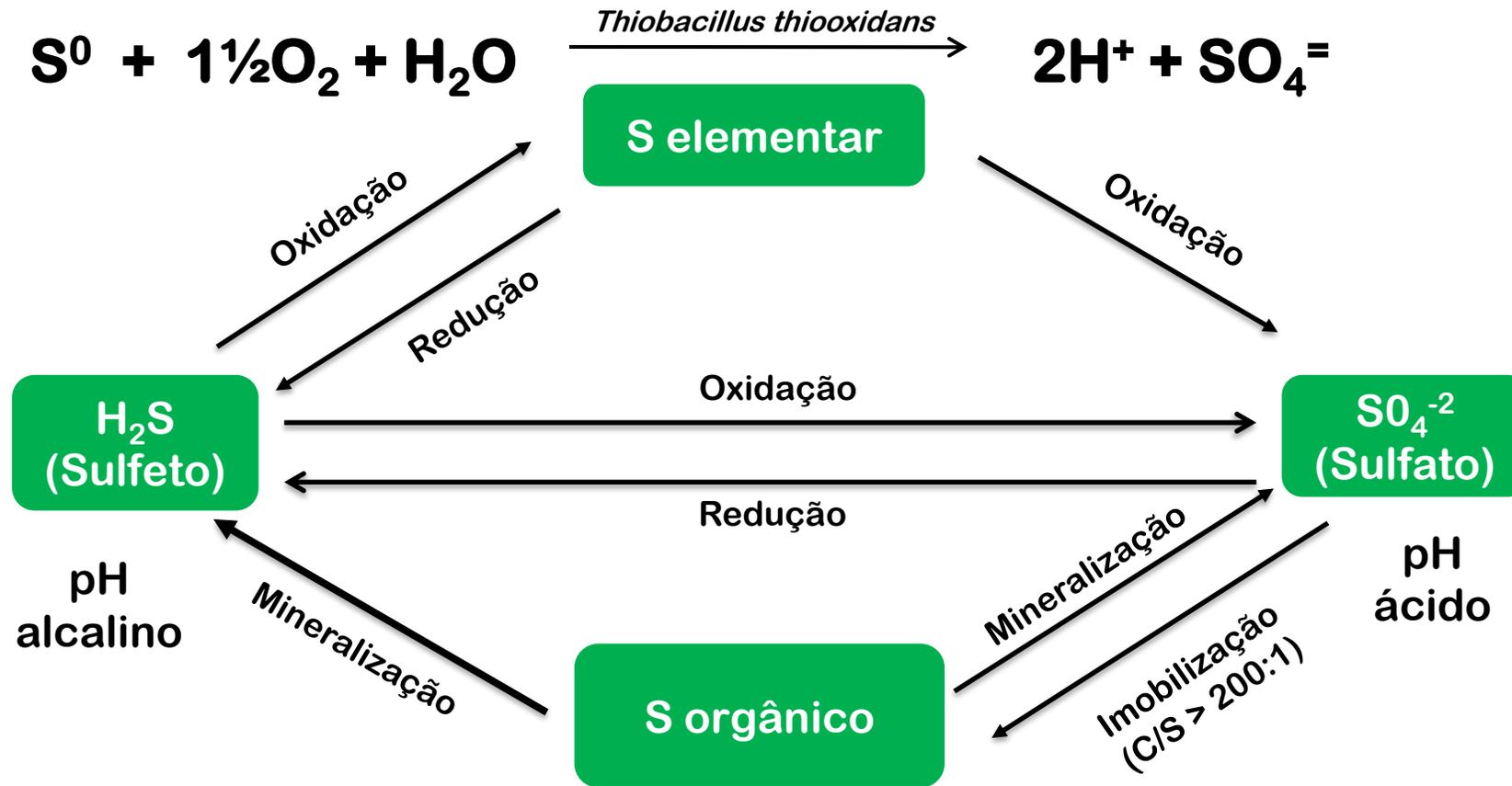
Relação entre C-orgânico, N-total, P-orgânico e S-total nos solos de diferentes regiões

Local	C : N : P : S
EUA – Iowa	110 : 10 : 1,4 : 1,2
Brasil	194 : 10 : 1,2 : 1,4
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% $S_{Total} \Rightarrow$ Forma orgânica

Ciclo do S no solo





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

Soil Taxonomy:



Solos salinos: $\text{CE} > 4 \text{ mmhos a } 12,5^\circ\text{C}$

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

Equação geral:



AGENTE: *Desulfovíbrio desulfuricans*

✓ **Diagnóstico (Quando?)**

- **S < 15 mg dm⁻³**

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 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

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

Fonte: Vitti (2000).

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

Fonte: Vitti (2000).

Quando?

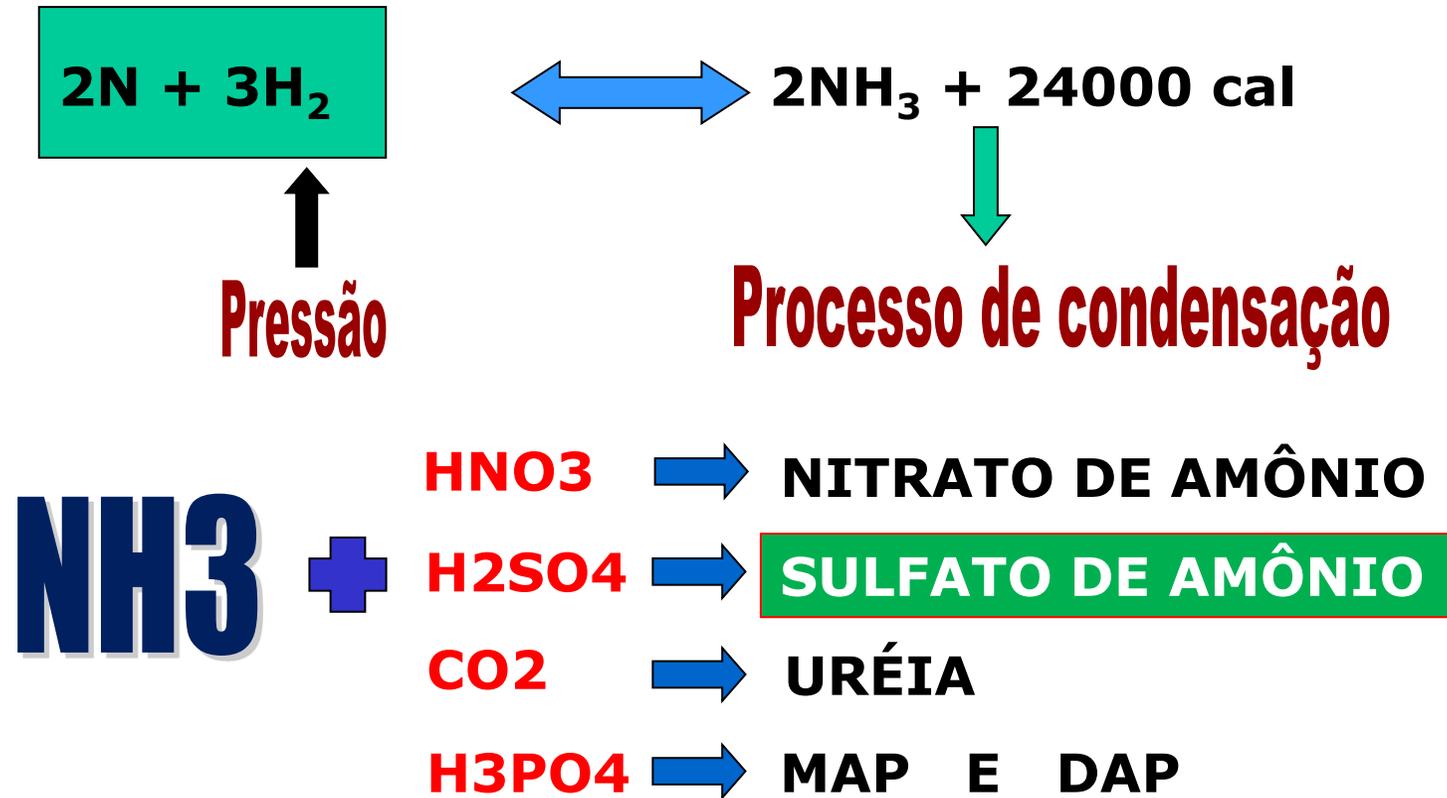
S < 15 mg.dm⁻³ (0 – 20 [soja, feijão] ou 20 – 40 cm [milho, cana-de-açúcar, algodão, arroz])
e não necessitou de gesso como condicionador.

Quanto ?

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

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	K_2SO_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

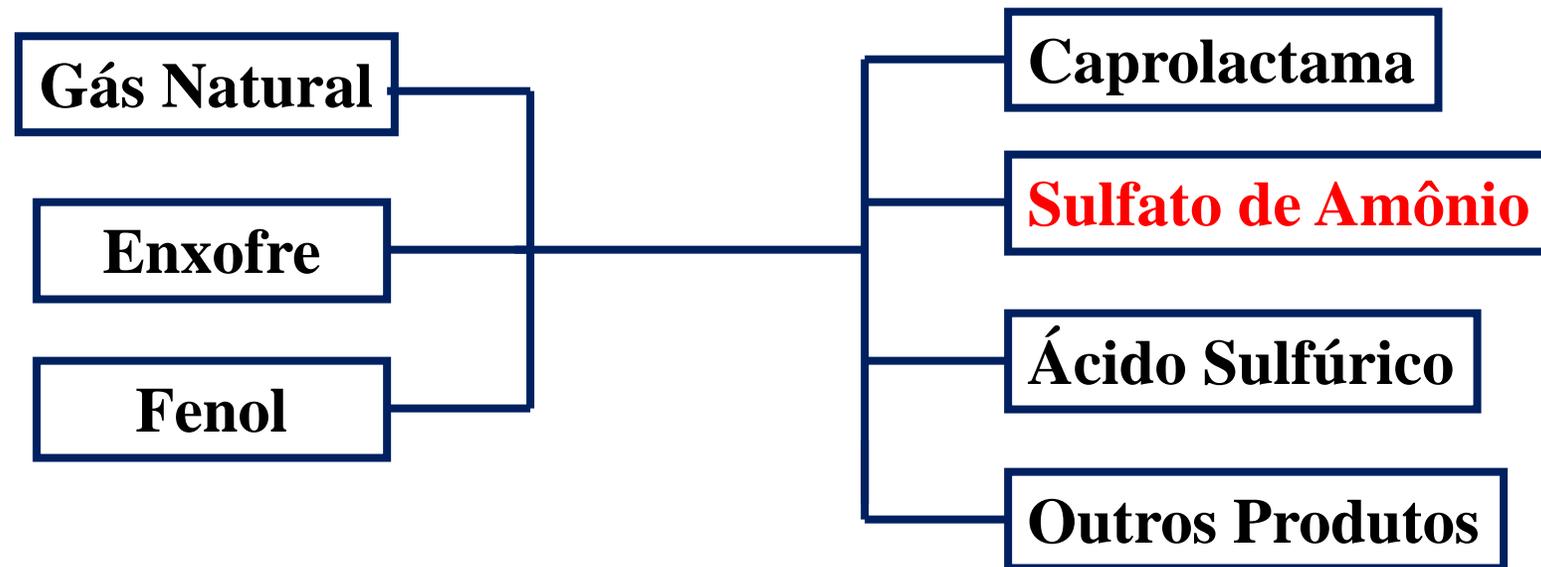
Primeira instalação para produção de amônia: Alemanha, 1913



Sulfato de amônio: Caprolactama

Sintético

Esquema simplificado da obtenção de Sulfato de Amônio, como sub produto da Caprolactama



Fontes tradicionais de N a partir da NH_3

Adbos	N	P_2O_5	S	Equivalente em CaCO_3	Índice salino	Solubilidade $\text{g } 100\text{ml}^{-1} \text{H}_2\text{O}, 25^\circ\text{C}$
Ureia	45	-	-	-840	75	119
Sulfato de amônio	21	-	24	-1.100	69	71
Nitrato de amônio	32	-	-	-590	105	187
DAP	16	48	-	-625 a -775	34	71
MAP	10	50	-	-650	30	40

Sulfato de Amônio $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$



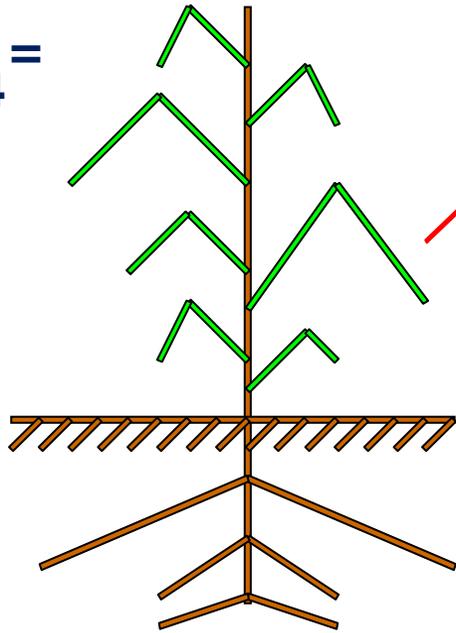
NH_4^+ → Absorção Radicular ou Nitrificação



NO_3^- → Absorção Radicular ou Lixiviação



Sulfato de Amônio $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$



Planta Absorve
15 N : 1S

No Adubo
1N \approx 1S \therefore

Logo:

Sobra SO_4^- no solo
Lixivia



$\text{K}^+ \text{SO}_4^-$
 $\text{Ca}^{++} \text{SO}_4^- < \text{pH}$
 $\text{Mg}^{++} \text{SO}_4^-$

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

(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.

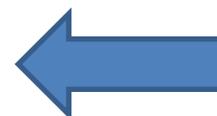
(3) Mistura de 50% Uréia + 50% + 50% Sulfato de amônio, 32%N.

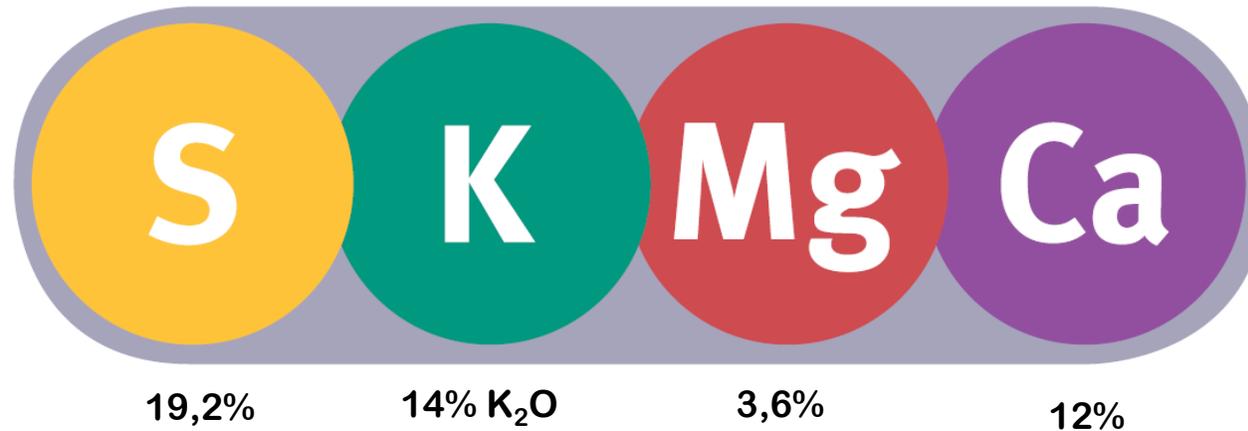
(4) Mistura de Uran + 50% Sulfato de amônio.



 Sulfato de amônio



Superfosfato simples 



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

Polysulphate - Produto Granulado Natural

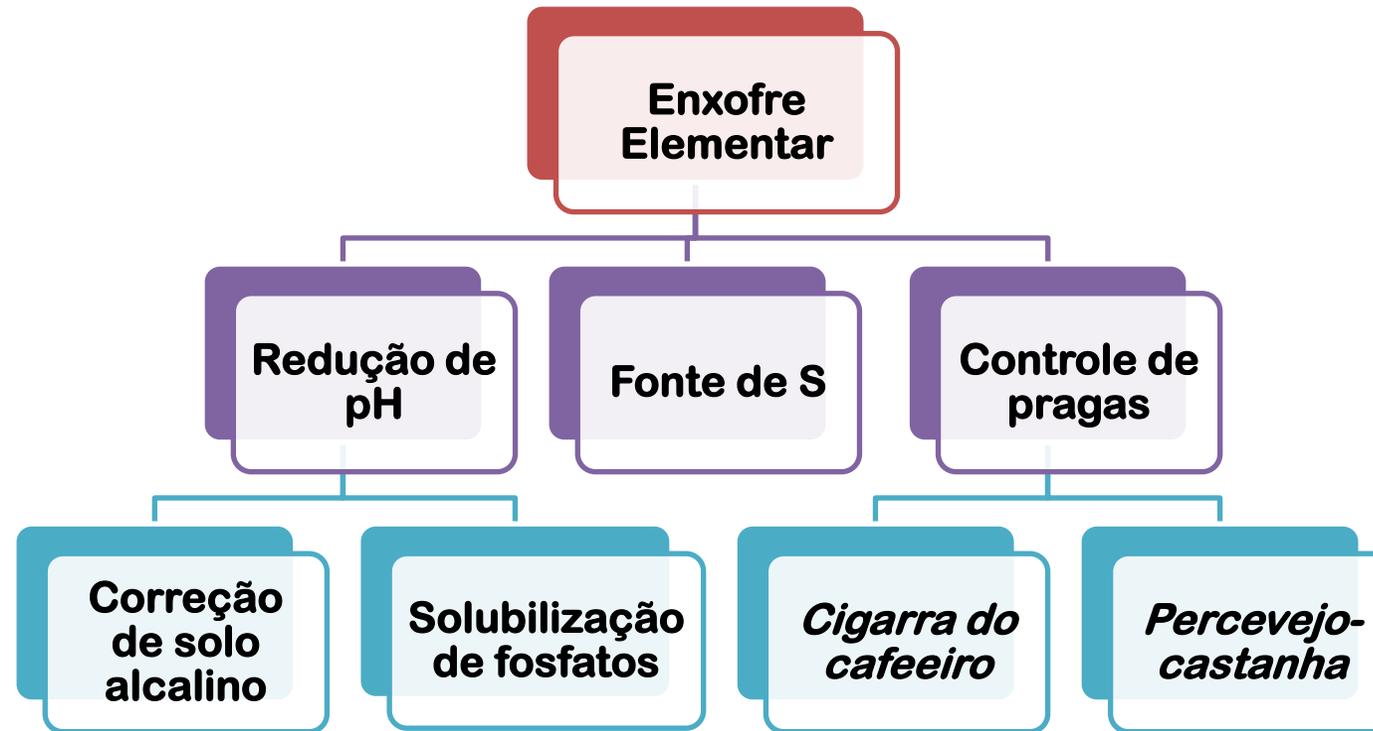


Aplicação
direta

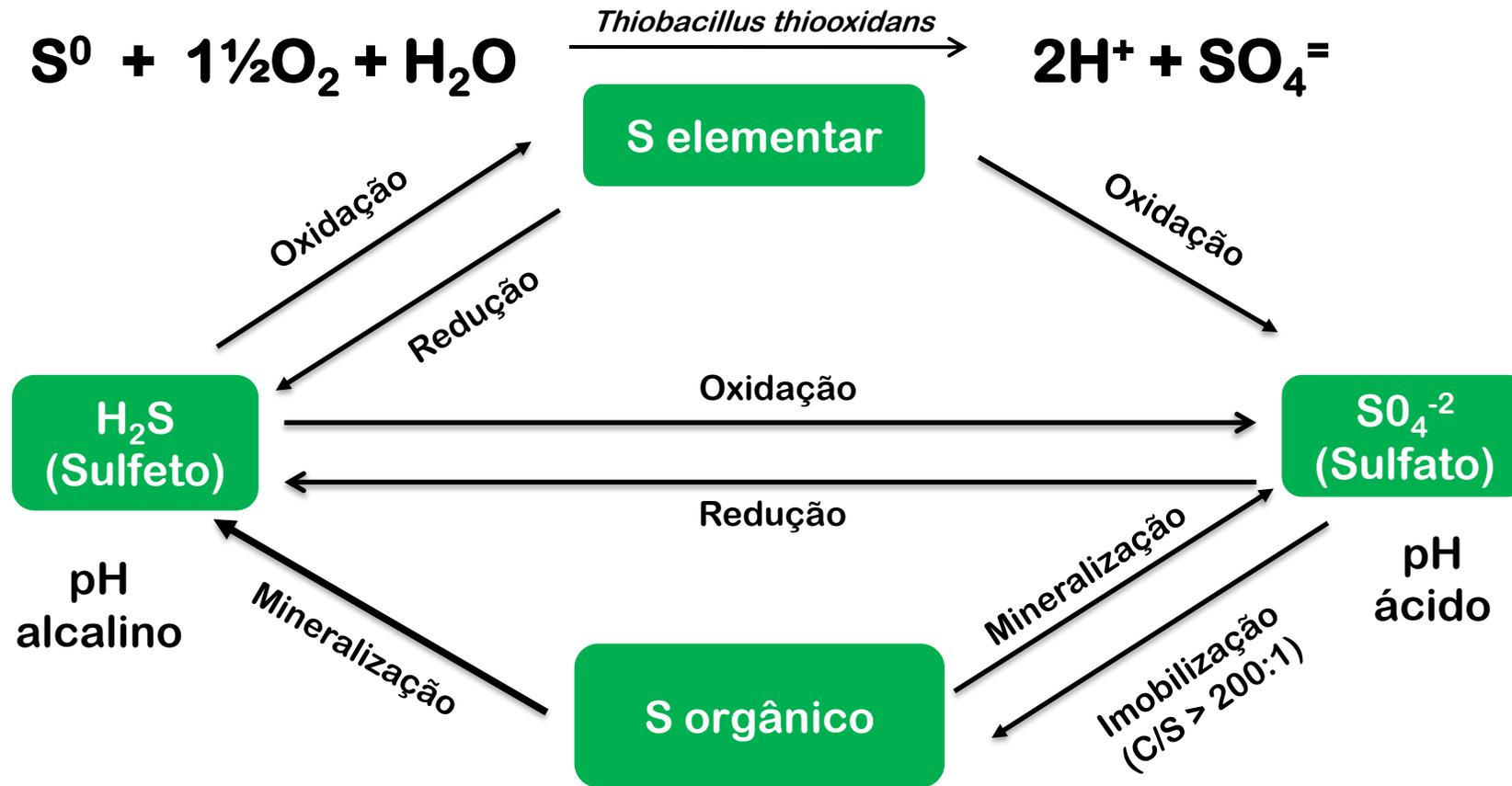
Uso em misturas:
Potashplus

K_2O	S	Ca	Mg
37%	9%	5,7%	1,8%

Enxofre elementar



Ciclo do S no solo



Garantias mínimas

Fertilizantes minerais simples com enxofre

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

Enxofre	95% S	Determinado como enxofre total. Especificação granulométrica: Pó.	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.
----------------	--------------	---	---

Dificuldades no uso de S elementar em pó

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;

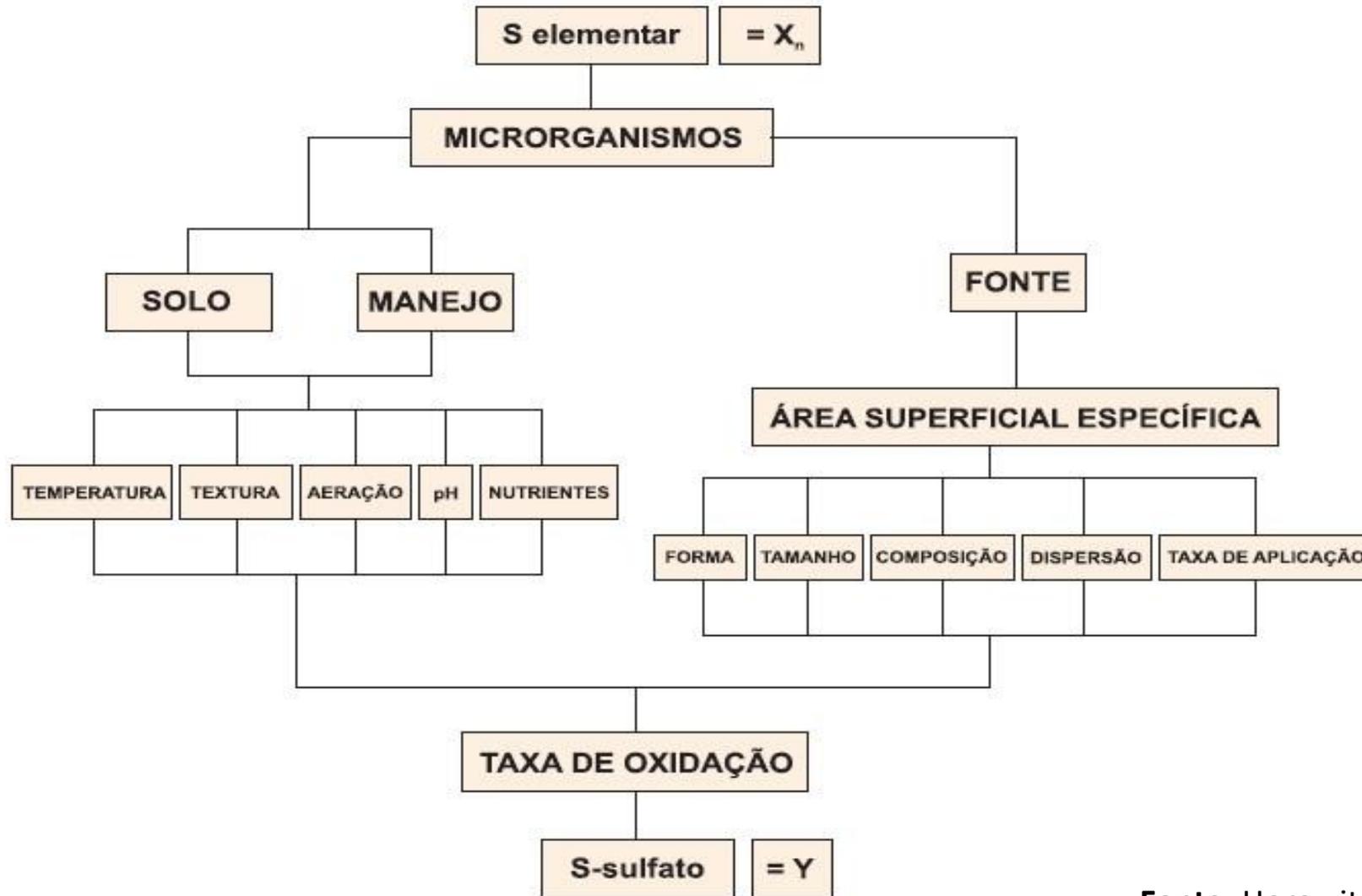
Riscos para os operadores nas aplicações em cobertura, devido ao contato com a pele humana provoca reações de oxidação (irritações e queimaduras);

É inflamável e pode causar incêndio e explosão.

Objetivo: 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.

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



Oxidação microbiológica do enxofre elementar

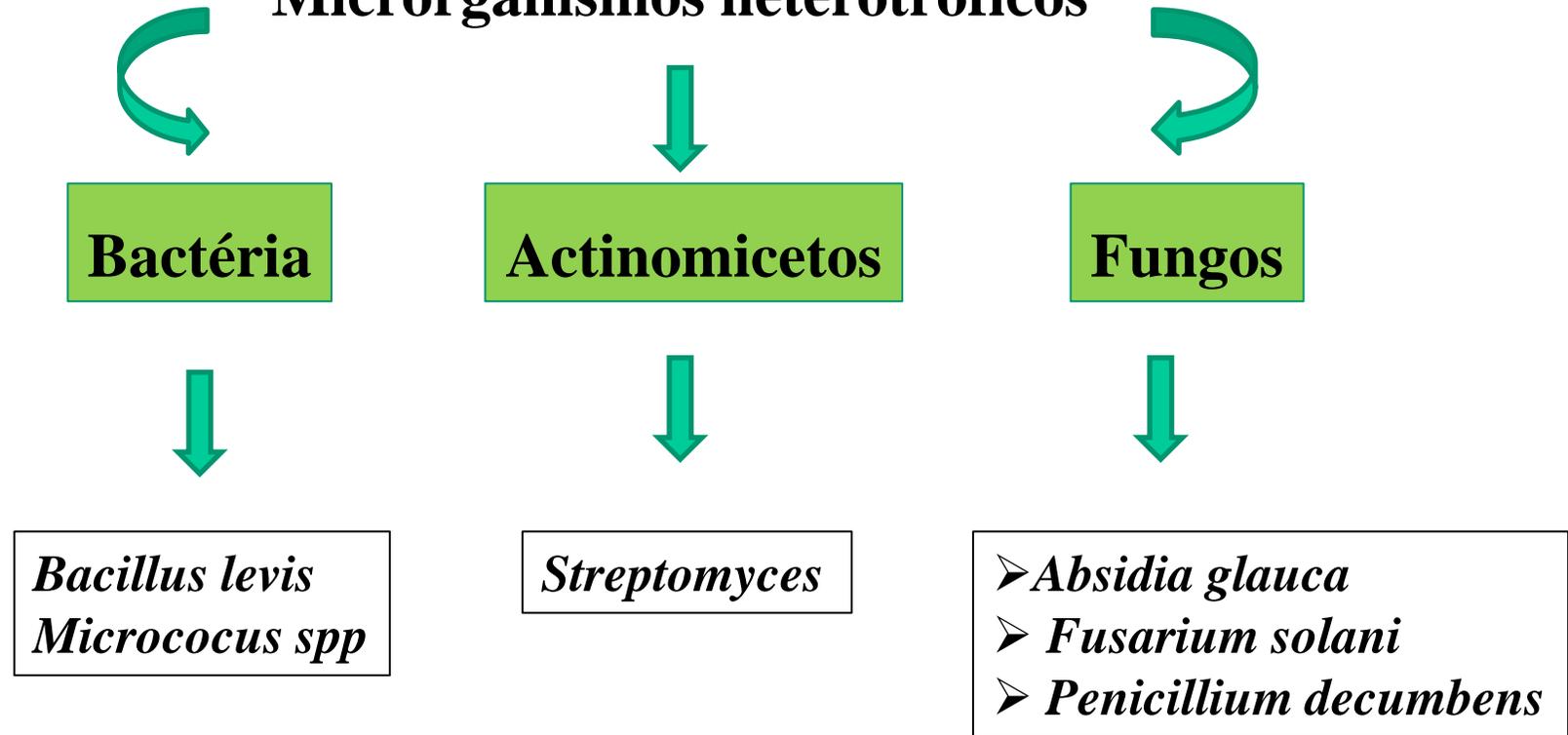


Bactérias
Quimioautotróficas
(Thiobacillus)

Microorganismos
heterotróficos

Fonte: Horowitz, 2003.

Microrganismos heterotróficos



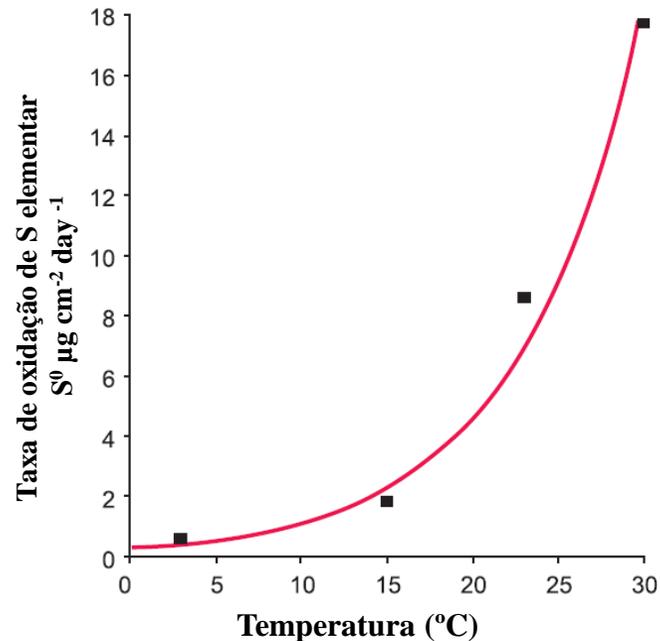
Ex.:

Organismo	País	$\mu\text{g S}_1^0 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$
Thiobacillus	Austrália	50
Heterotróficos	Canada	05

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



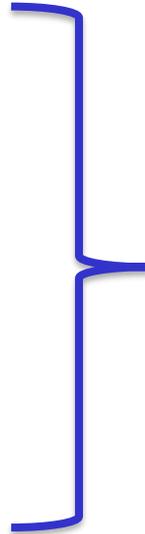
Fonte: adaptado de JANZEN e BETTANY (1987c).

Figura. Relação de oxidação do S elementar e temperatura.

Correlação positiva



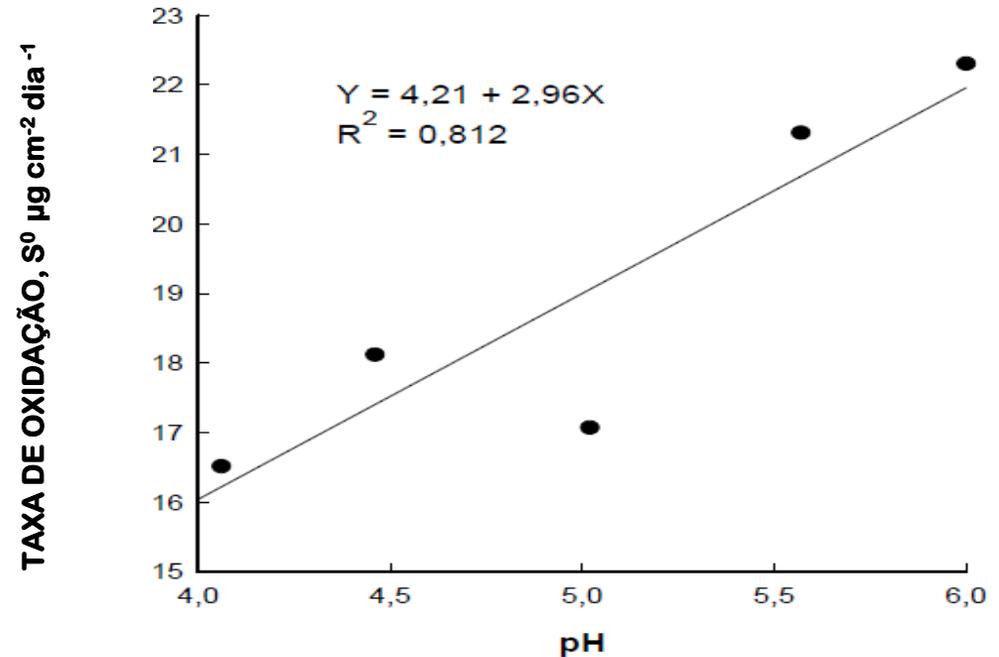
Taxa de oxidação do S Elemental



Fatores:

- $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$: **nutrientes**
- \uparrow CTC \uparrow Dose: **maior capacidade tampão H_2SO_4 .**

Fonte: NOR; TABATABAI, 1977.



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



Tamanho da Partícula



Taxa de Oxidação

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

Fonte: DONALD; CHAPMAN, 1998.

Fonte: WAINGWRIGHT, 1984.

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 ^(*)	Longo período

^(*) Não usado em fertilizantes

Dispersão do S elementar no solo

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

- 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.**

➤ **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.**

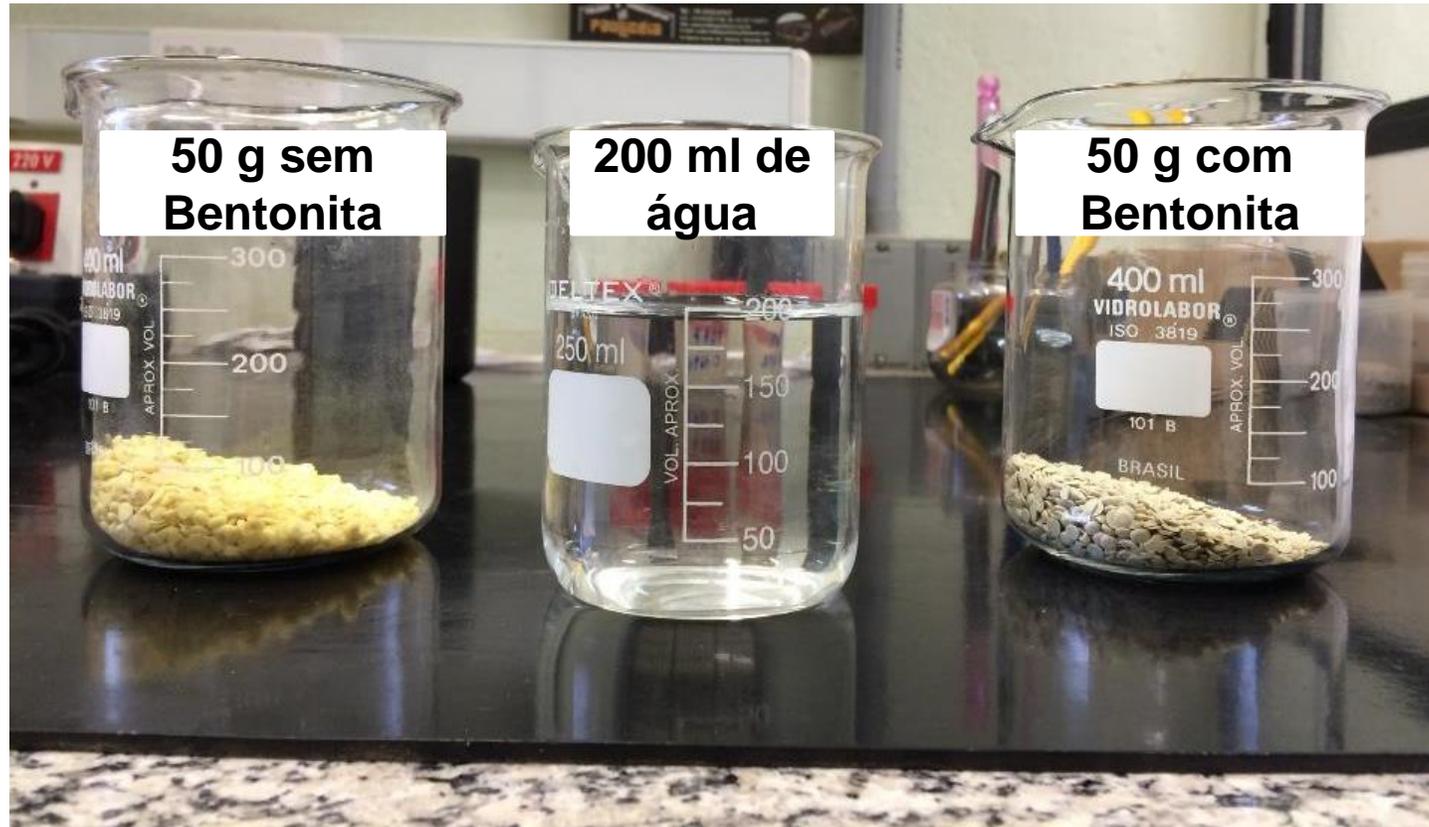
Enxofre pastilhado



Processo descrito por Boswell et al. (1988):

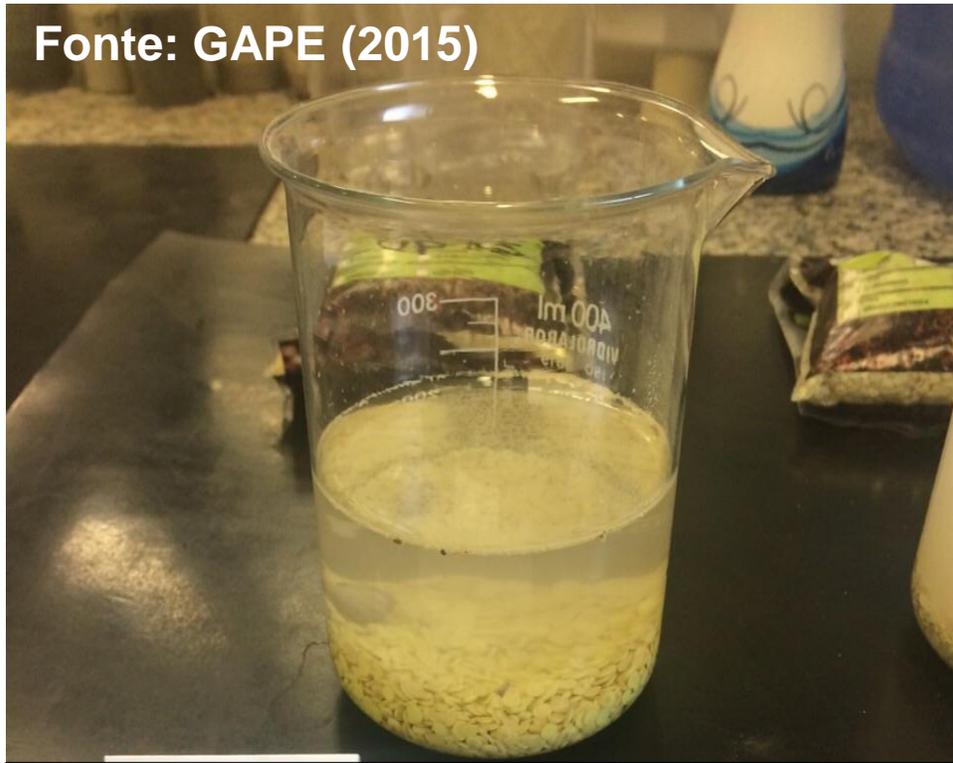
- Presença de umidade no solo; “Pastilhas” de enxofre elementar se desintegram devido a presença de bentonita;
- Bentonita, por ser uma argila expansiva, em contato com a umidade do solo, tem seu volume aumentado cerca de 20 vezes;
- Exposição de grande área de superfície de contato das partículas para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

Enxofre pastilhado



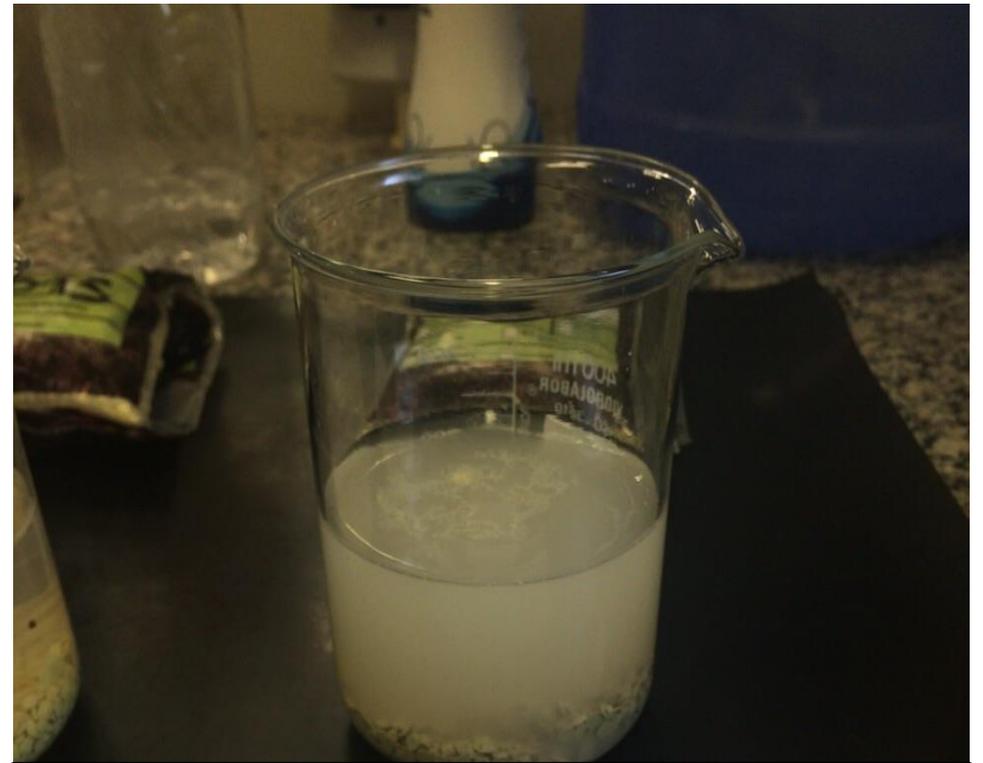
Fonte: GAPE (2015)

Fonte: GAPE (2015)



Enxofre sem Bentonita

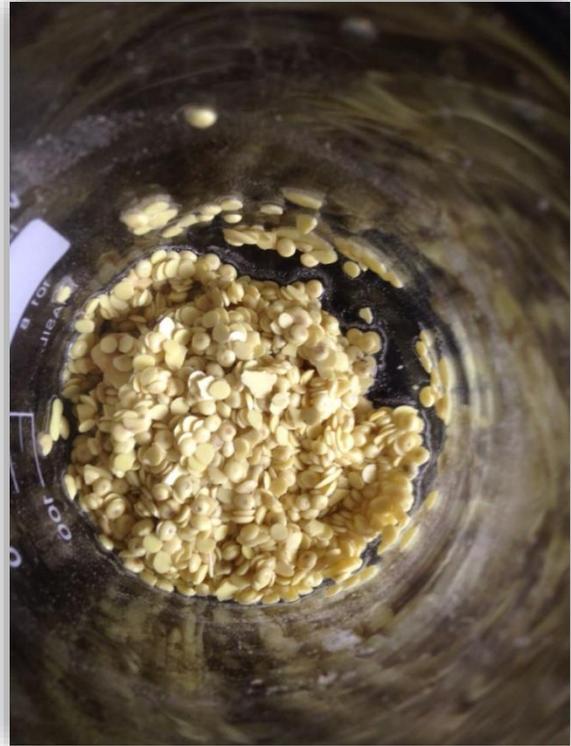
15 minutos



Enxofre com Bentonita

15 minutos

Dispersão de pastilhas de S na água em 24h

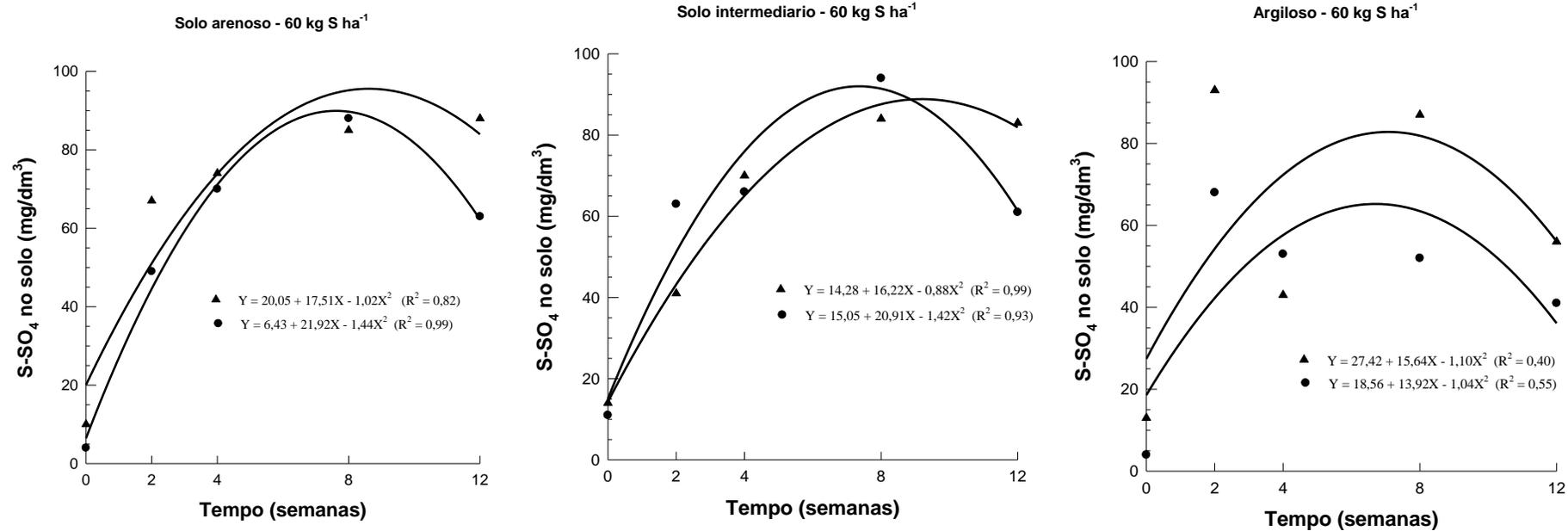


Sem Bentonita



Com Bentonita

Curvas de oxidação: S⁰ x S⁰ + bentonita



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

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

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

S elementar com Bentonita (90% S)

Teor de S no solo (mg dm ⁻³)	S elementar (kg ha ⁻¹)	Fornecimento de S
0-5	70	63
6-10	60	54
11-15	50	45
> 15	40	36

Enxofre Elementar Pastilhado com Argila Expansiva (S₀)



Em média 5 a 10 vezes maior que a aplicação de gesso

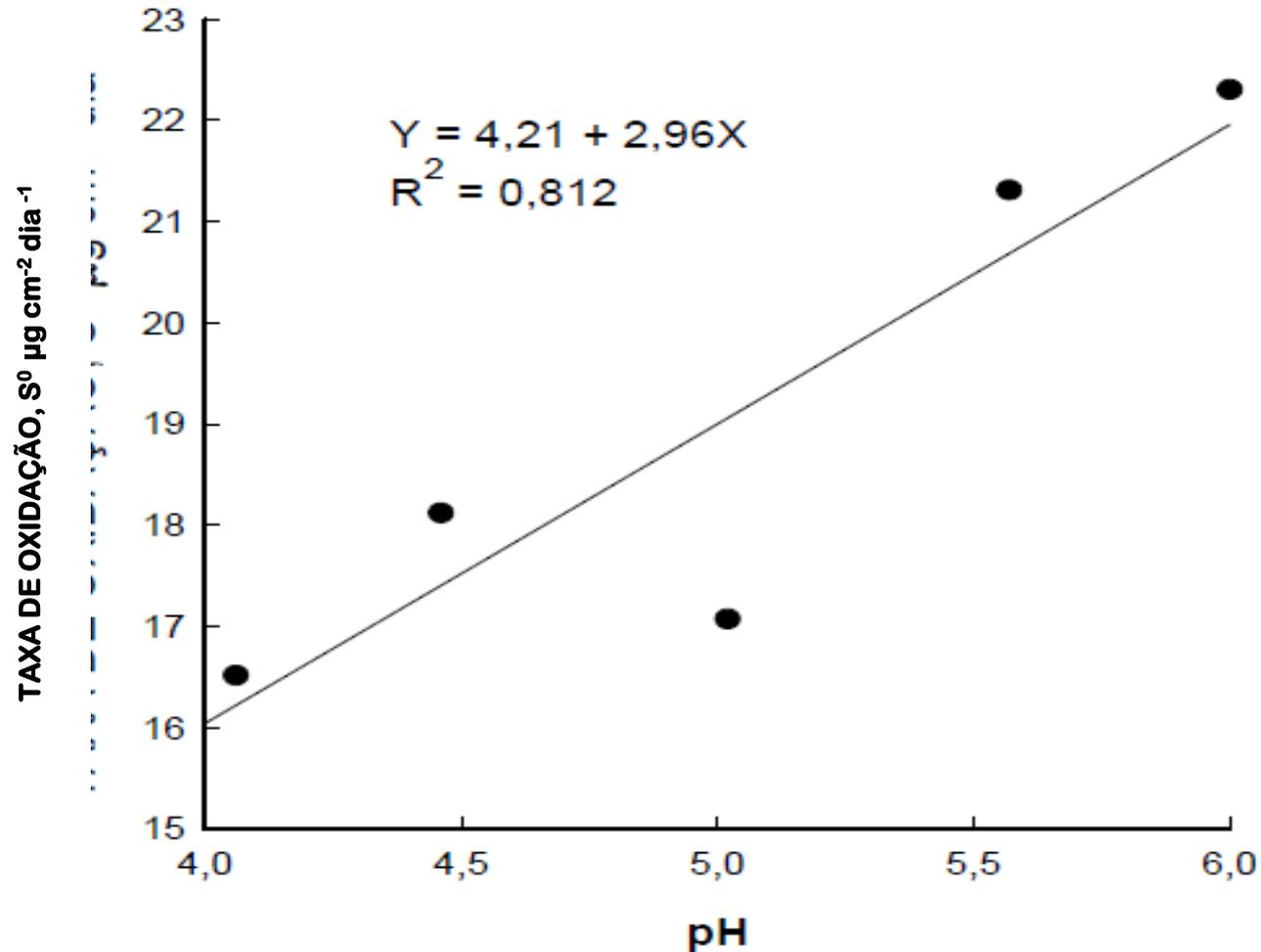
- Áreas extensas
- Volume de aplicação
- Volume de armazenagem
- Distribuição
- Faixa de aplicação
- Dose: 40 a 50 kg ha⁻¹
(36 a 45 kg ha⁻¹ S)

O gesso agrícola, é insubstituível como condicionador de subsuperfície!

50 a 100 kg ha⁻¹ de enxofre pastilhado (20 m) - Vitor Campanelli (Severínia-SP)



Oxidação do S_0 vs pH



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

- Alta concentração de nutriente:

Rendimento operacional.

Redução do custo de frete.

Redução de armazenamento.

- Maior Eficiência

Liberação gradual de nutriente (na época de maior exigência).

Menor lixiviação

Qualidade de aplicação

Acidificação do calcário aplicado em superfície

Efeito residual na segunda safra

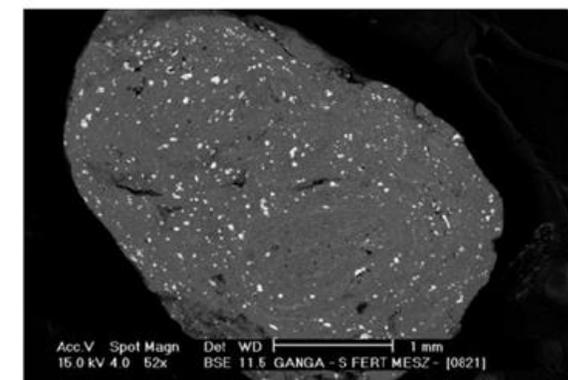
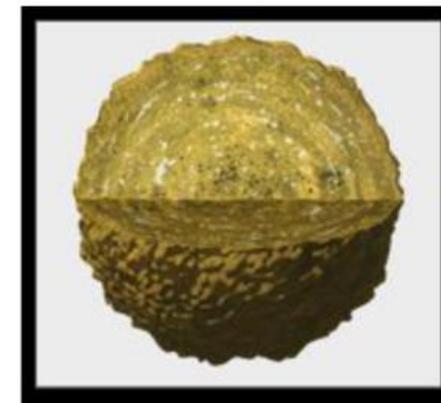
Efeito residual do S elementar aplicado na soja sobre o milho



Créditos Luiz Barreto
Sapezal MT

$S^0/SO_4 = \text{MAP}$ com enxofre elementar

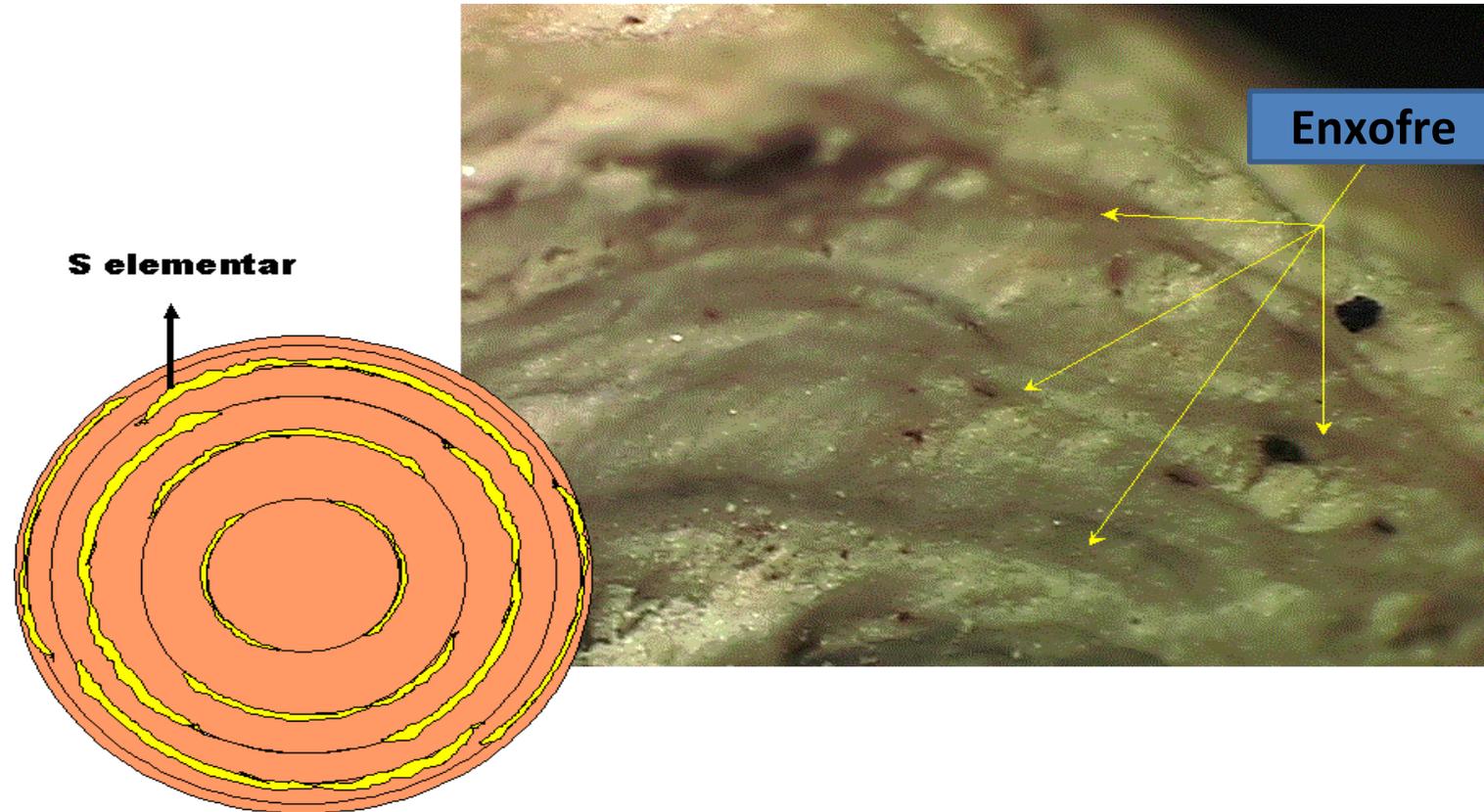
- Mistura de sulfato com S elementar em todo o grânulo;
- Aumenta o teor de S sem afetar o teor de P
- Fornece rápida liberação de N e P e lenta liberação de S;
- Diminuição do pH do solo em torno dos grânulos, pode aumentar a solubilidade de P em solos neutros / alcalinas.



Fonte: Mosaic Fertilizantes.

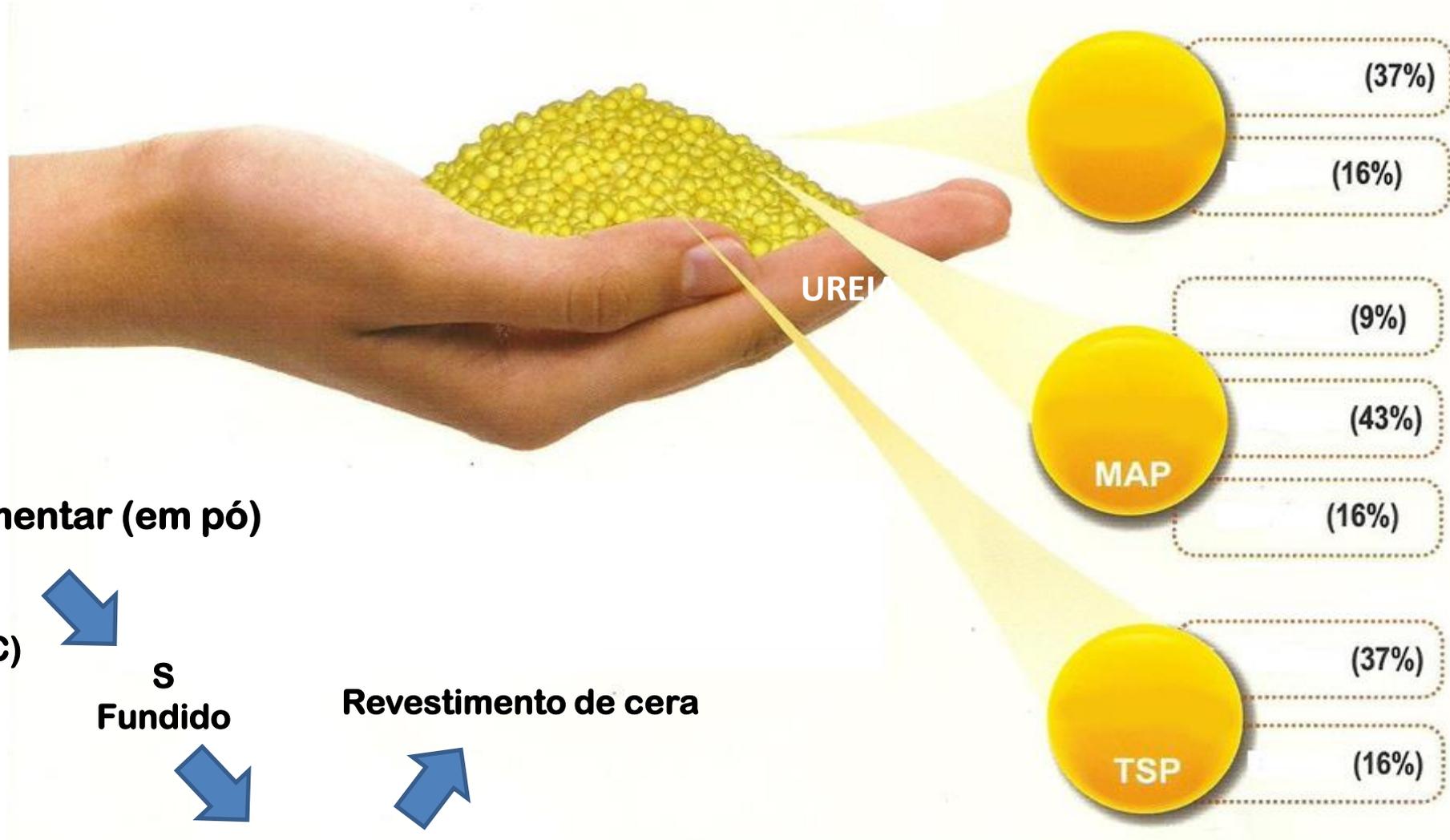
- **Fertilizante granulado, fornece N, P e S no mesmo grânulo**
Fórmula 13-33-00 + 15% S
Alta concentração de nutrientes
- **Metade do enxofre na forma de sulfato e a outra metade na forma elementar.**
Fósforo solúvel em água

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

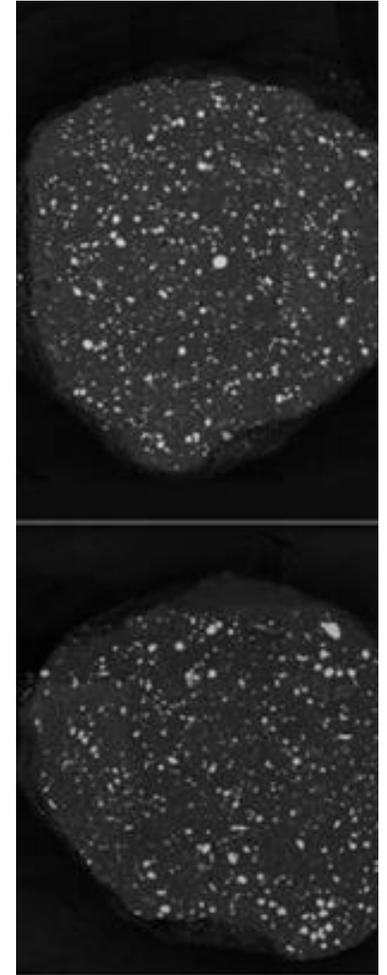


Fonte: Mosaic Fertilizantes.

Ureia, MAP e TSP revestidos



- **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 . (11-40-00)**



Fonte: Shell



Palotina - PR

- **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 (com bentonita), ou associado a fontes de nitrogênio e fósforo é 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 S⁰ diferem em taxa de oxidação, necessitando a 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.**

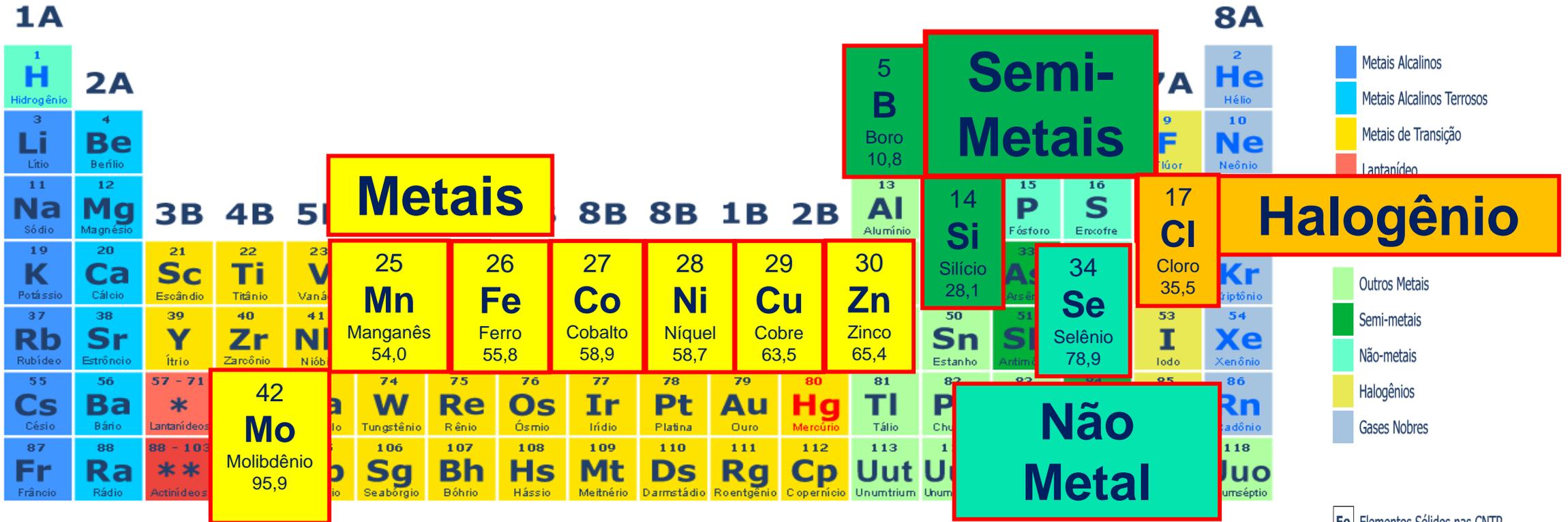
Micronutrientes

- **Legislação Brasileira de Fertilizantes**
 - Legislação Brasileira (Decreto 4.954/14-01-04).

 - Instrução Normativa n.º 39 - 08/08/18

**Boro, Cloro, Cobalto, Cobre, Ferro, Manganês, Molibdênio,
Selênio, Silício, Níquel e Zinco.**

MICRONUTRIENTES



Série dos Lantanídeos

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

Série dos Actinídeos

89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Actínio	Tório	Protactínio	Urânio	Neptúnio	Plutônio	Americio	Cúrio	Berquílio	Califórnia	Einstênio	Férmio	Mendelévio	Nobélio	Laurêncio

MICRONUTRIENTES

EXPRESSÕES

Extração: g ha^{-1}

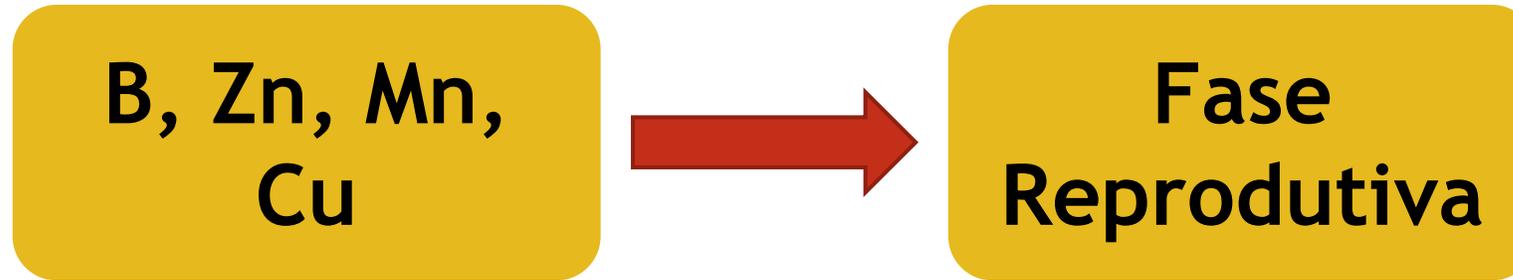
Teor foliar: mg kg^{-1}

Teor solo: mg dm^{-3}



ATUAÇÃO	MICRONUTRIENTES
Paredes Celulares	B
Membranas Celulares	B, Zn
Constituintes de Enzimas	Fe, Mn, Cu, Ni
Ativadores Enzimáticos	Mn, Zn
Fotossíntese	Fe, Cu, Mn, Cl
Metabolismo do N	Co, Fe, Mo, (Ni)

Micronutrientes na planta



Determinação da produtividade

Qualidade do produto

Resistência à estresses

Bióticos

Abióticos



ENZIMA SUPERÓXIDO
DISMUTASE
(Cu - Zn - SOD)



DESINTOXICAÇÃO DE
RADICAIS SUPERÓXIDO



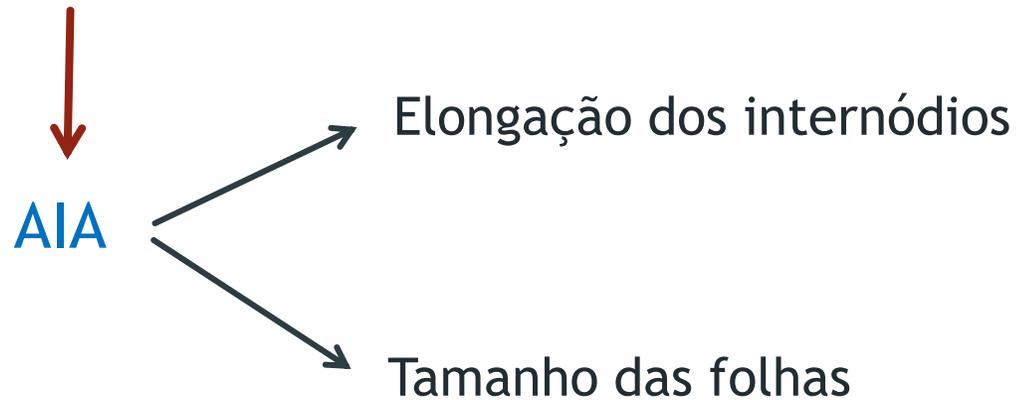
DANIFICA CÉLULAS VIVAS

Micronutrientes: importância

Frutose 1.6 difosfato → Regula a quebra dos açúcares C6

Aldolase → Transporte (fluxo) de metabólicos
(via glicolítica)

Triptofano (requer Zn em sua formação)

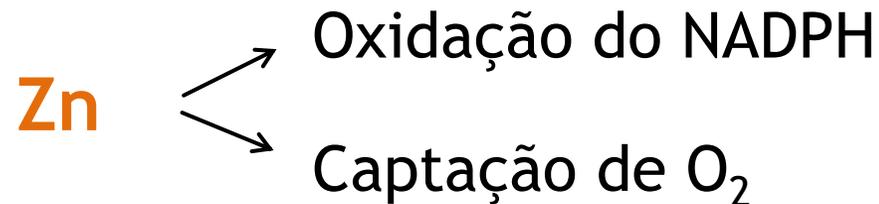


Zn



Função: Remoção dos radicais superóxido (O_2) e portanto, proteção das membranas e proteínas contra oxidação.

Zn



Manutenção da estrutura e integridade da membrana e de controle da permeabilidade

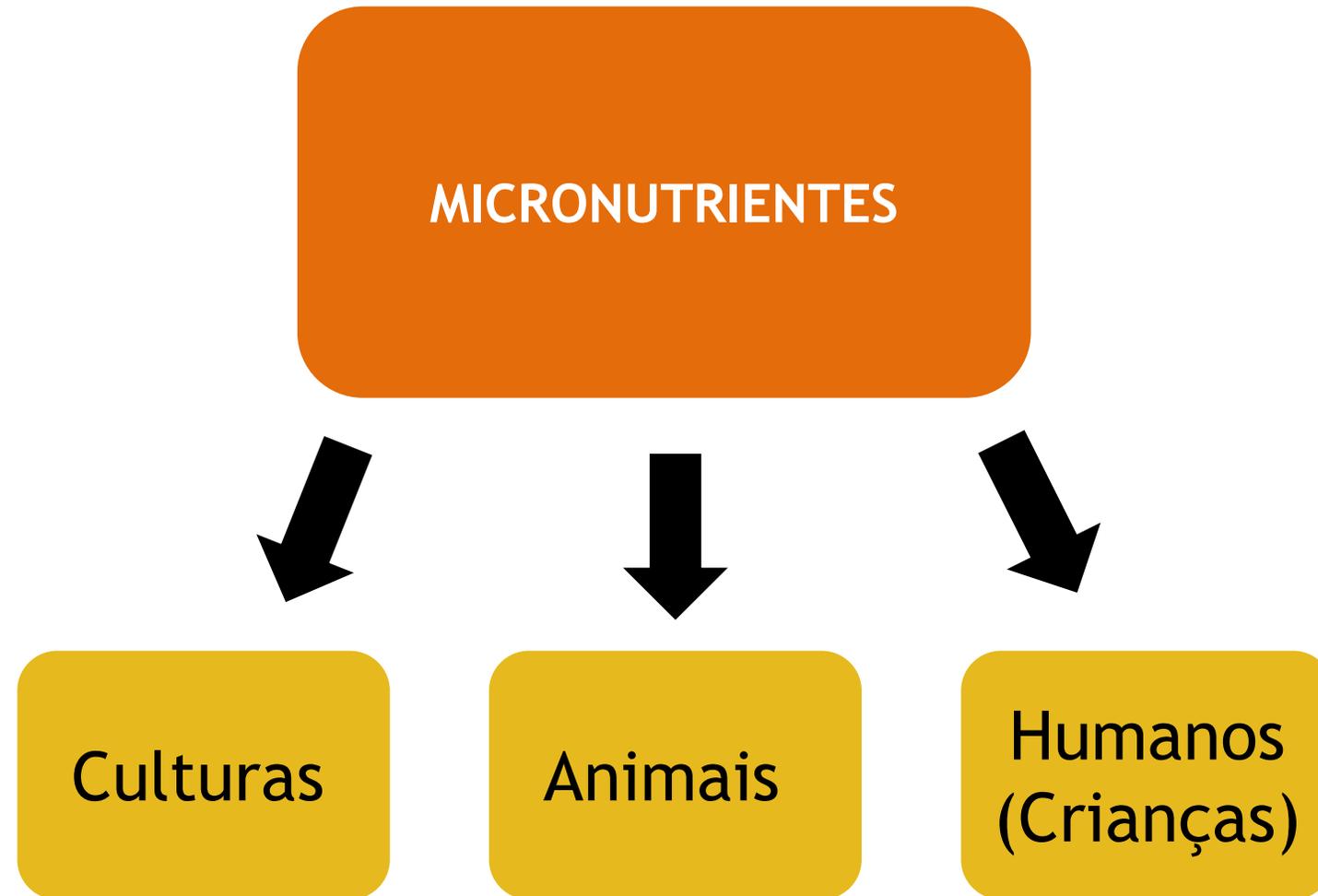
Protege a planta de vários patógenos.

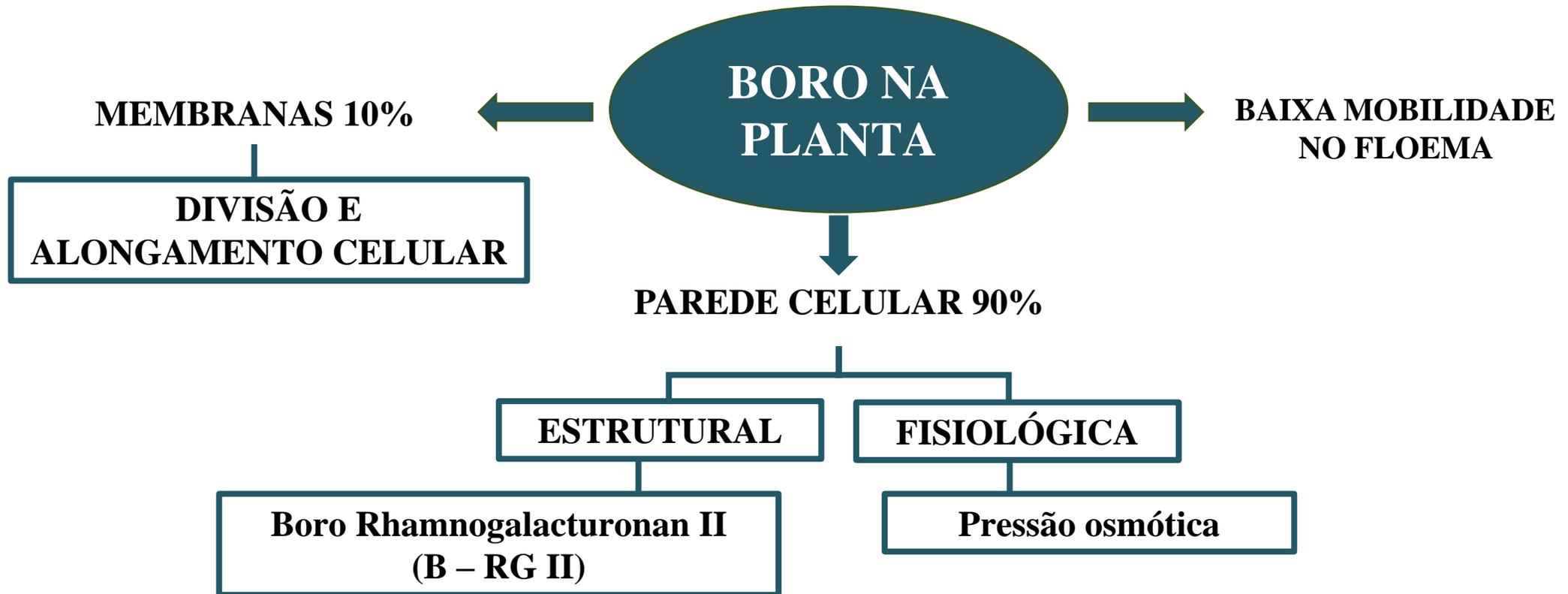
Concentrações críticas deficientes: 15 a 30 mg kg⁻¹

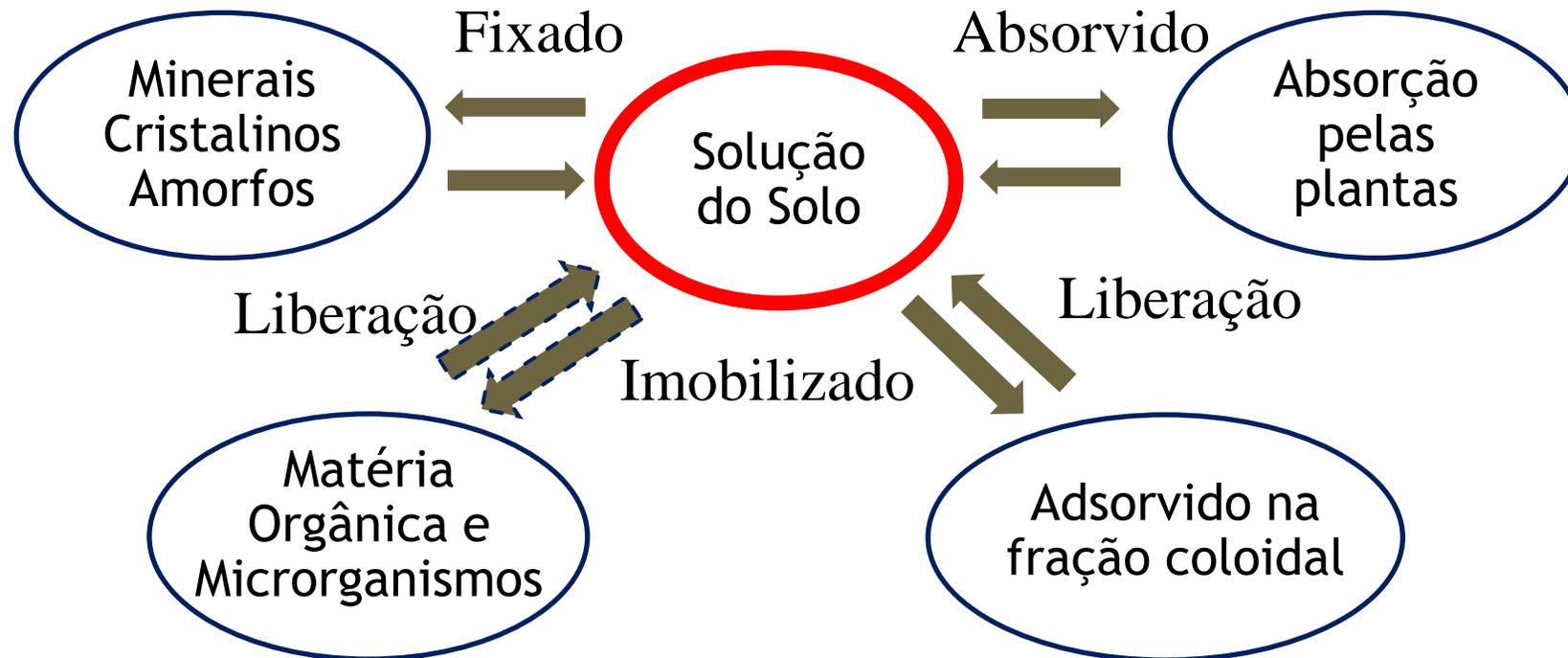
Maiores em plantas com altos teores de P

Boro na planta

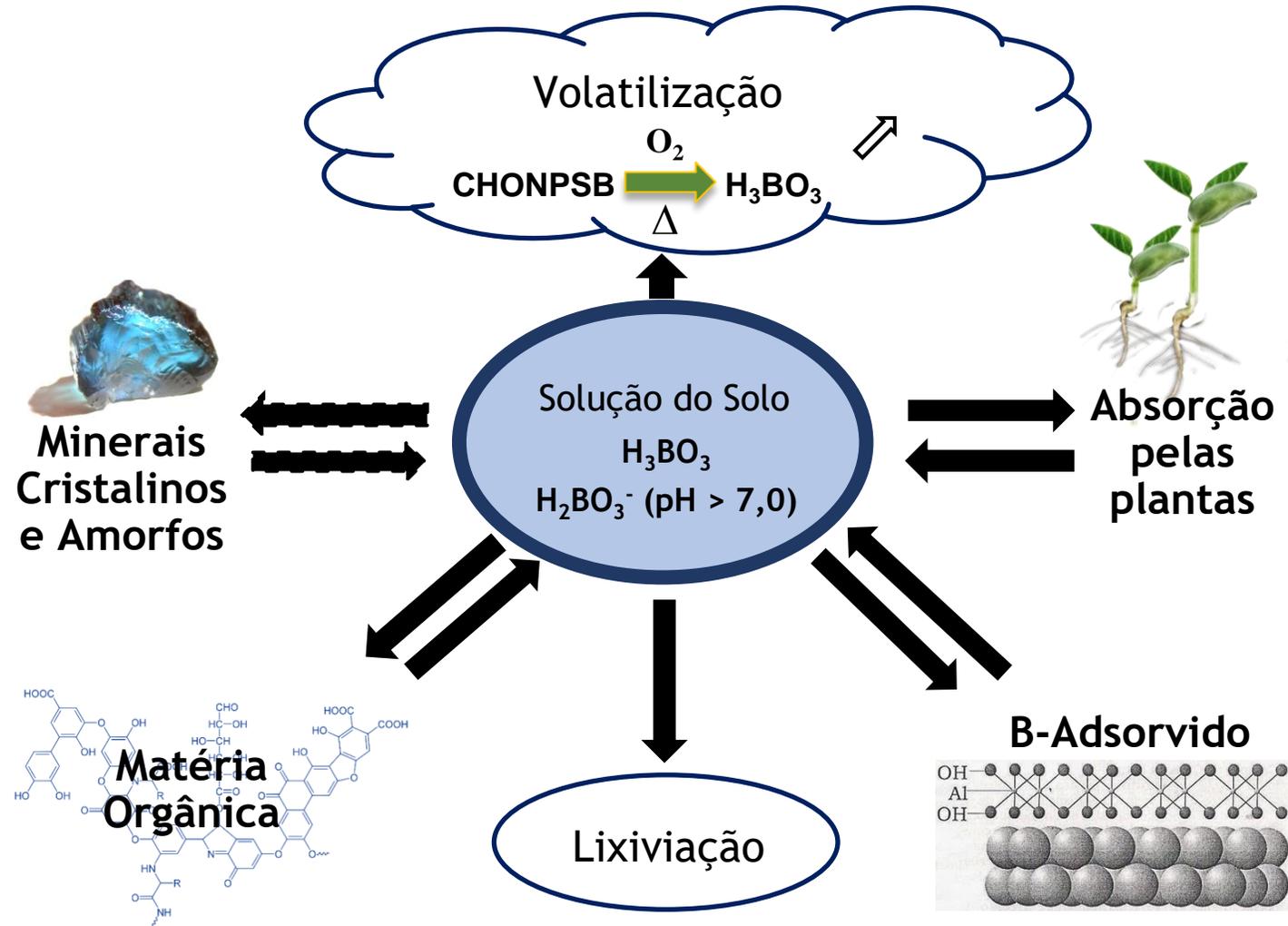




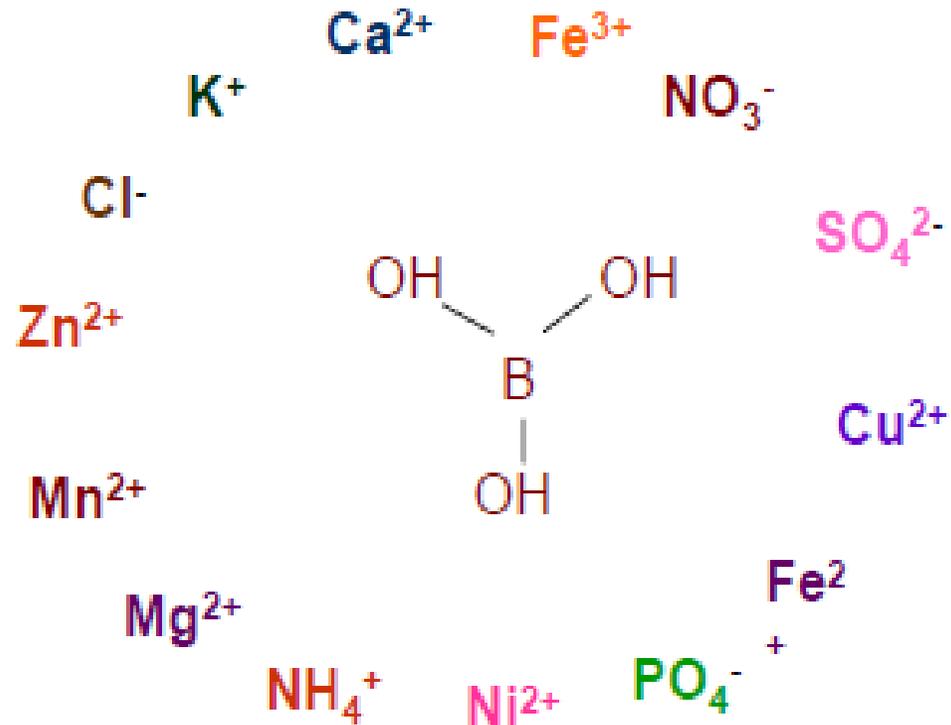




Boro no solo: Dinâmica



Todos os nutrientes minerais são absorvidos como íons, com exceção do **Boro**



Todos os nutrientes, exceto o Boro necessitam de transportadores de membrana

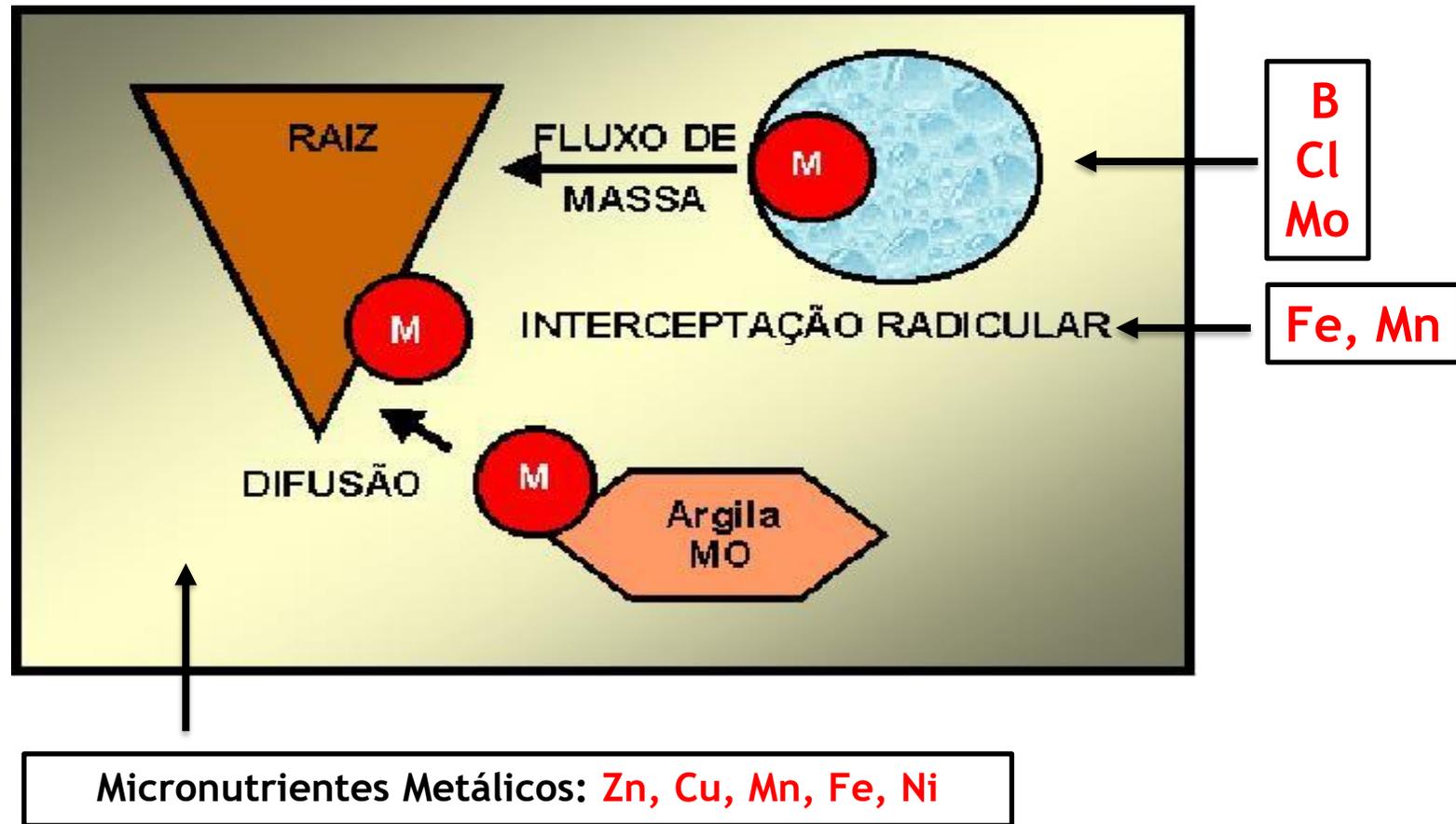
Formas de absorção pelas raízes das plantas

Nutriente	Formas
Boro (B)	H_3BO_3
Cloro (Cl)	Cl^-
Cobre (Cu)	Cu^{++}
Ferro (Fe)	Fe^{++}
Manganês (Mn)	Mn^{++}
Molibdênio (Mo)	MoO_4^-
Zinco (Zn)	Zn^{++}
Cobalto (Co)	Co^{++}
Niquel (Ni)	Ni^{++}
Silício (Si)	H_4SiO_4

Ânions: $B(OH)_3$, Cl^- , MoO_4^- , $Si(OH)_4$

Cátions: Cu^{++} , Fe^{++} , Mn^{++} , Zn^{++} , Co^{++} , Ni^{++}

Contato íon-raiz



Relação entre o processo de contato e a localização dos fertilizantes

Comportamento de micronutrientes elementos no solo

Elemento	Processo de contato			Aplicação de adubo
	Interceptação	Fluxo de massa	Difusão	
	----- (% do total) -----			
B	3	97	0	Área total
Mo*	5	95	0	Área total
Cu**	15	5	80	Próximos das raízes
Fe	40	10	50	Próximos das raízes
Mn**	15	5	80	Próximos das raízes
Zn**	20	20	60	Próximos das raízes

Fonte: Malavolta et al, 1997.

(1) Fluxo de massa (Lixiviação)



(2) Difusão (Fixação no solo)



a) Material de origem do solo

b) Textura do solo

c) Aeração do solo

- . Ferro
- . Manganês
- . Cobre

d) Práticas culturais

- . Calagem (reação do solo)
- . Adubação fosfatada
- . Plantio direto

e) Características genéticas da planta (Ex: soja RR)

f) Desbalanceamento entre nutrientes

g) Altas produtividades (Lei do mínimo)

h) Queima de restos culturais (Boro: Cana-de-açúcar e algodão)

Material de Origem do Solo

BASALTO > GRANITO > CALCÁRIO ≥ XISTO > ARENITO*

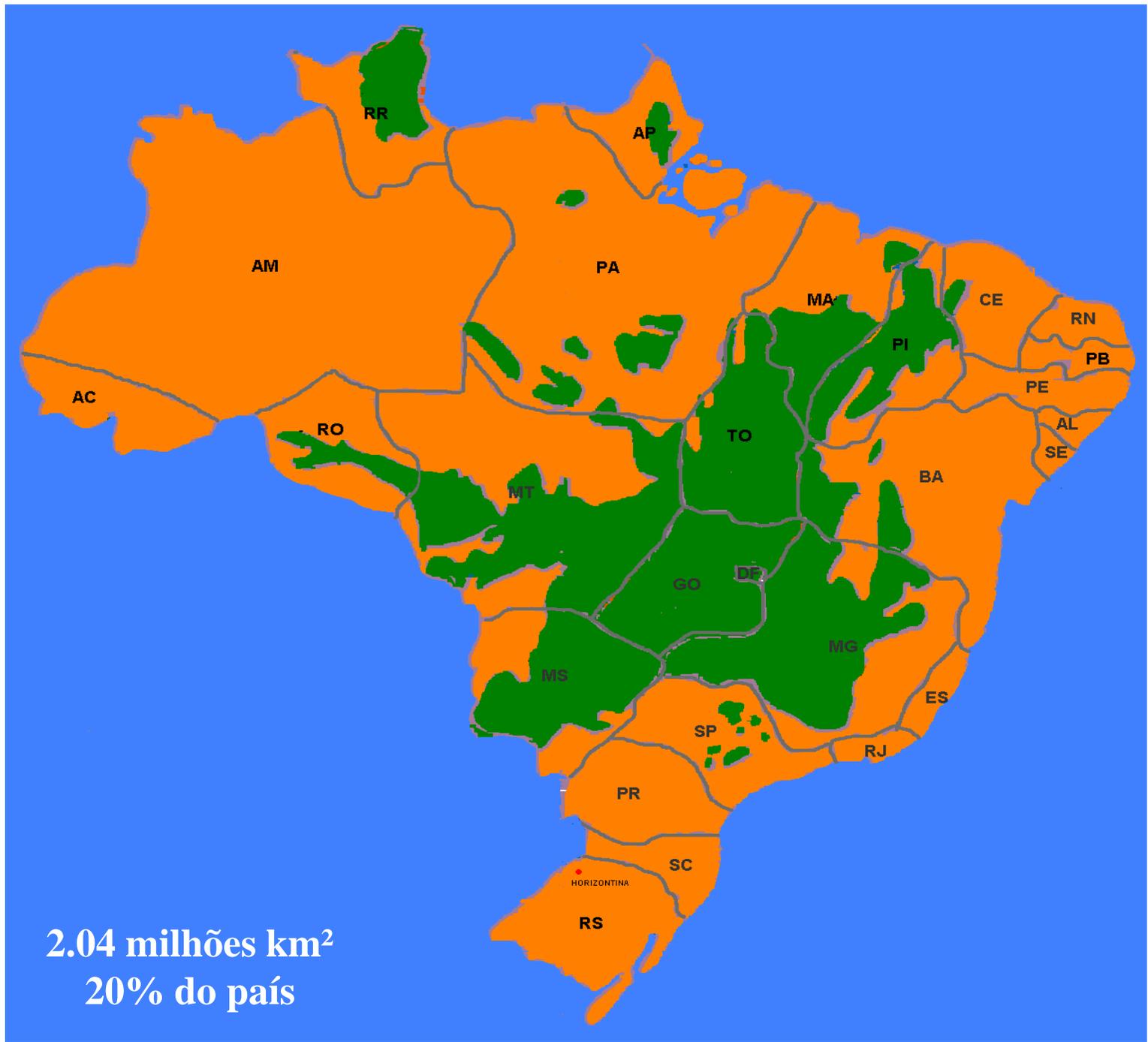
Diminuição dos Teores de Micronutrientes no Solo

***Cerrados: 2,04 milhões ha (20% do Brasil)**

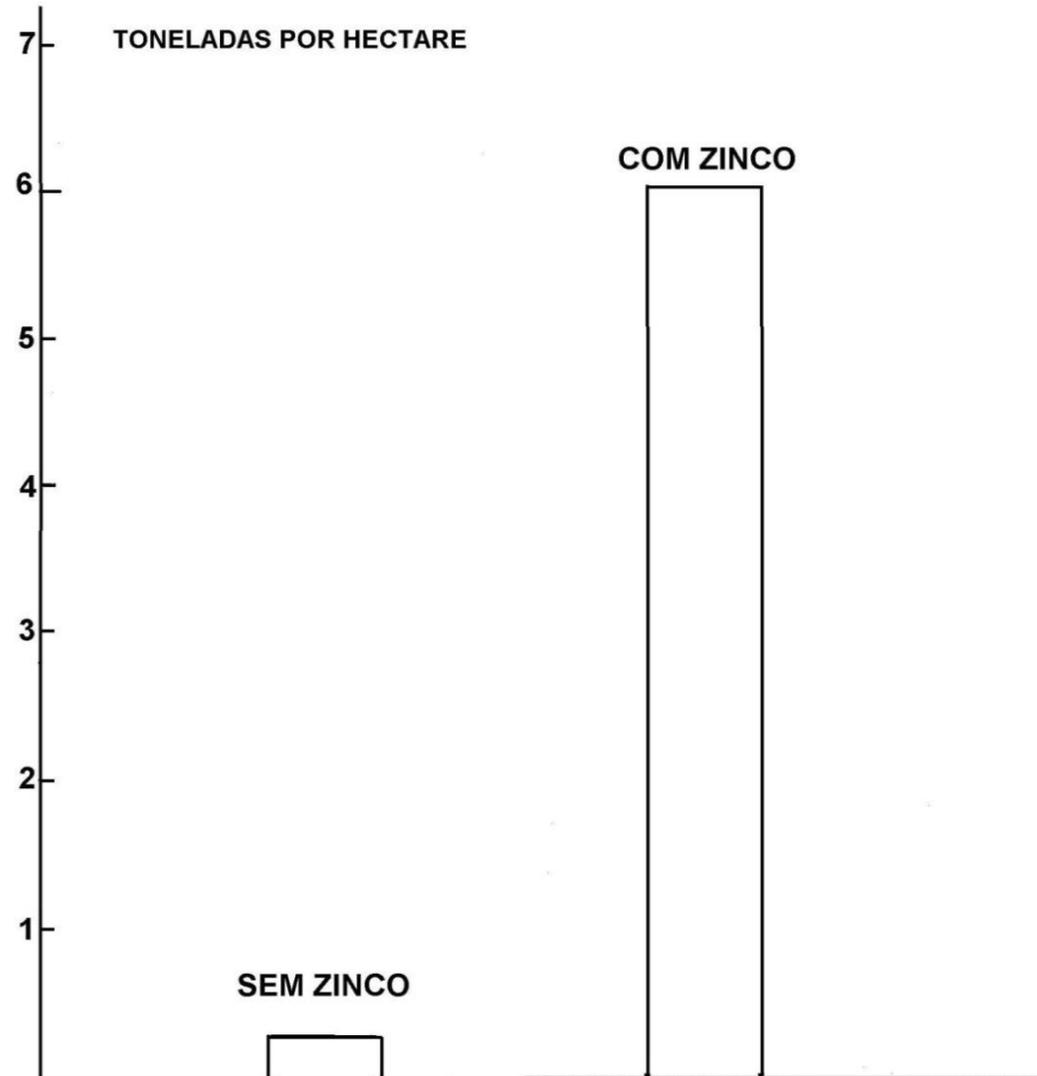
Latossolos (Oxissolos)

Argissolos (Alfissolo e Ultissolo)

Neossolos (Entissolo)

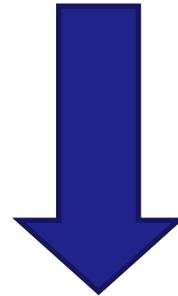


Efeito do zinco na produção de milho em planaltina - DF.



Geral:

Solos Arenosos e Pobres em Matéria Orgânica

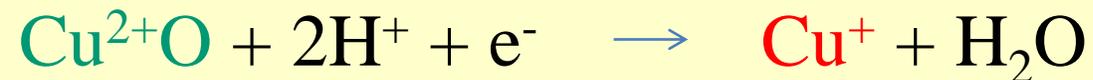
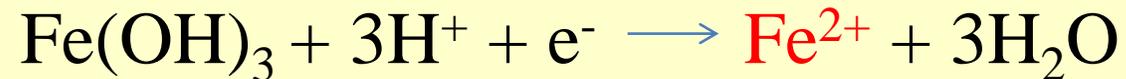


São deficientes em micronutrientes

Reações de Oxirredução de Alguns Elementos

Aerobiose (O₂)

Anaerobiose (H₂O)



Mn x aeração





Fe/Mn = 1/1

Fe = 218 mg.kg⁻¹

Mn = 109 mg. kg⁻¹



Fe/Mn = 2/1

Deficiência de Ferro x Manganês





**Deficiência de Cu
Solos de Várzea/PR**

**Cu⁺
Insolúvel
(Excesso de H₂O)**

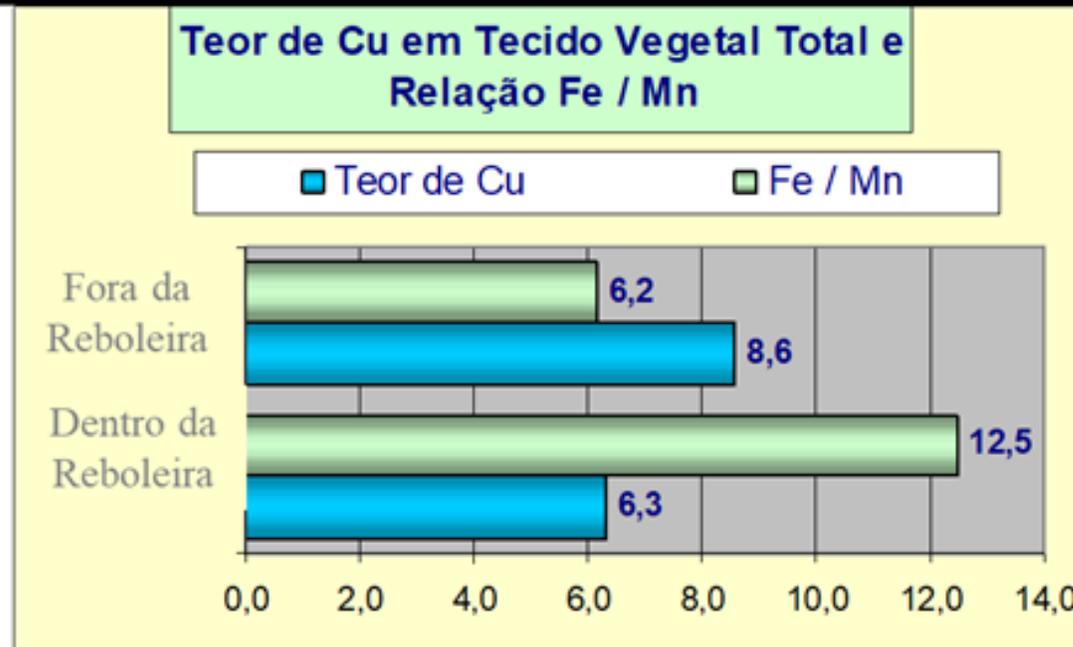


**Cu⁺⁺
Solúvel
(Boa drenagem)**

400 g ha⁻¹ de Cu - Aumento da produção de 100%

Teores de Fe, Mn e Cu na parte aérea de soja: dentro (excesso de água) / fora da reboleira (solo normal)

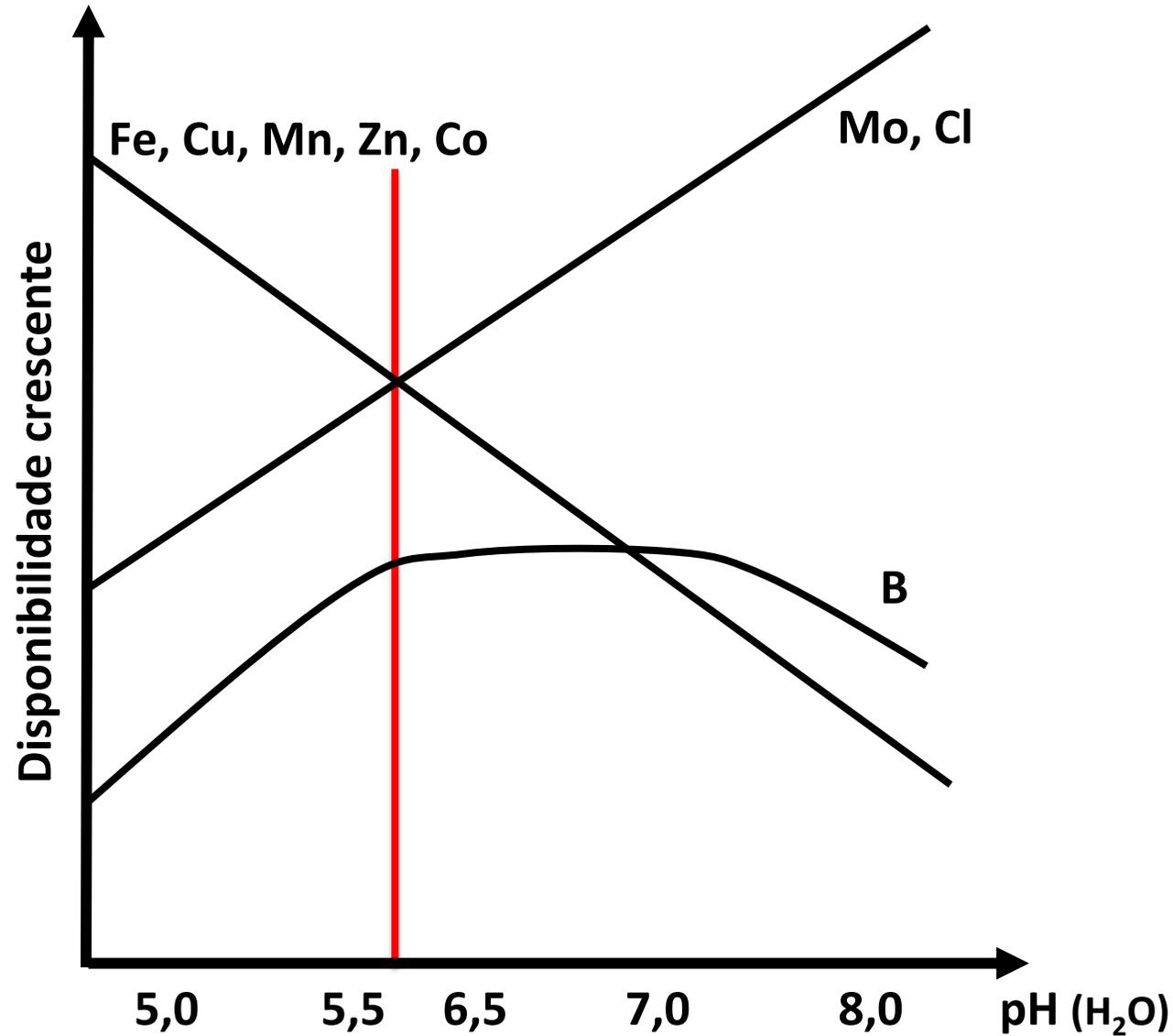
Resultados das Análises de Tecido Vegetal Total					
Local	Cu	Fe	Mn	Zn	Fe/Mn
	mg . kg ⁻¹				
Dentro da Reboleira	6,3	364,9	29,2	24,8	12,5
Fora da Reboleira	8,6	294,4	47,8	30,0	6,2



Fonte: Grupo Eldorado - Safra 2001/2002

(Vitti e Grandó Jr., 2006)

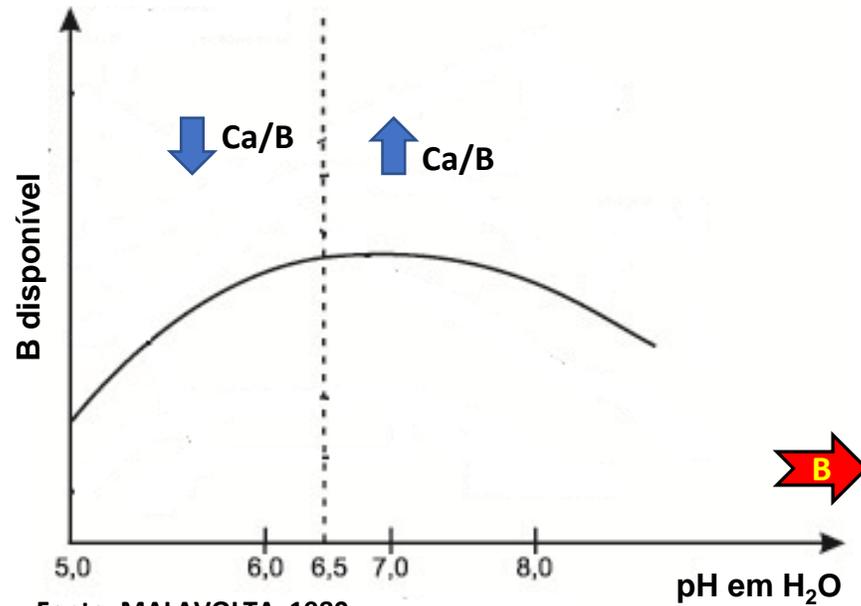
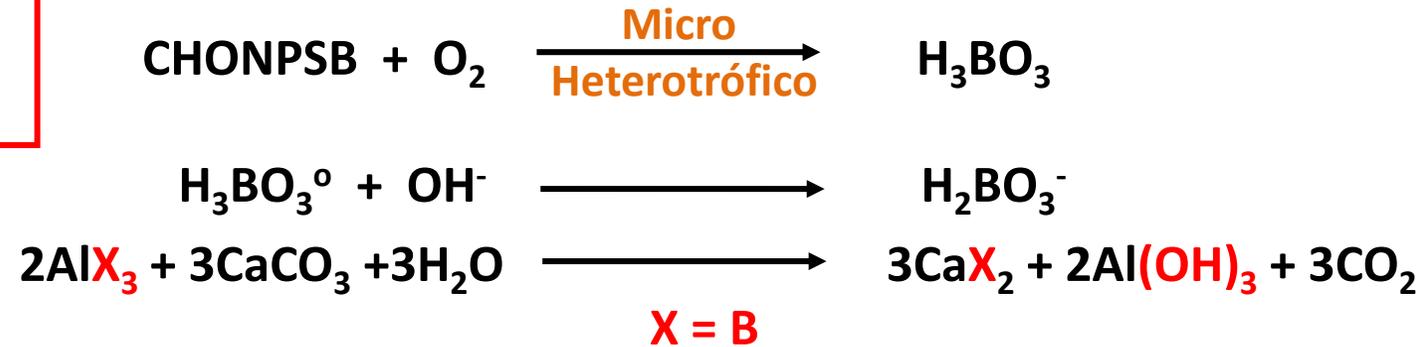
Disponibilidade de micronutrientes em função dos valores de pH em água



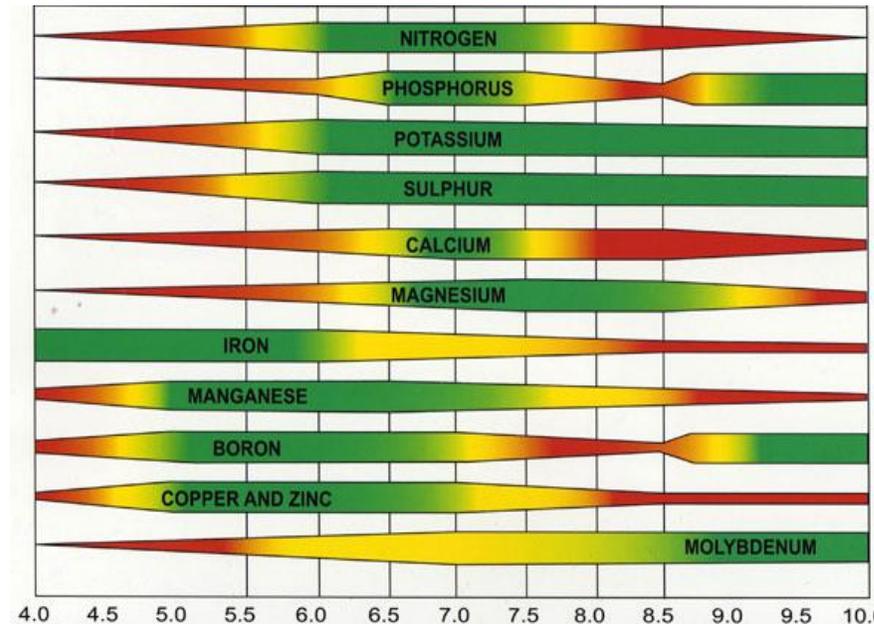
CÁTIONS - Fe^{++} , Cu^{++} , Mn^{++} , Zn^{++} , Co^{++}
 → Diminui disponibilidade

ÂNIONS - MoO_4^- e Cl^-
 → Aumenta a disponibilidade

Boro no solo: *pH x B disponível*



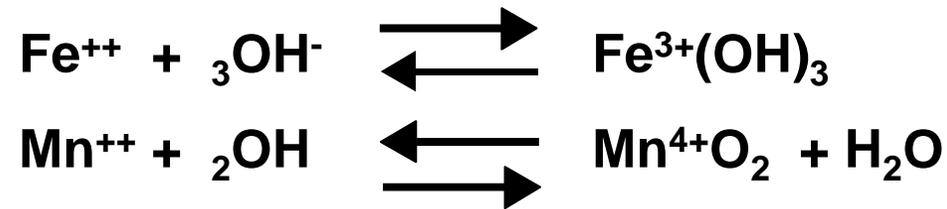
Fonte: MALAVOLTA, 1980



Fonte: AEFA, 2016

Mecanismos:

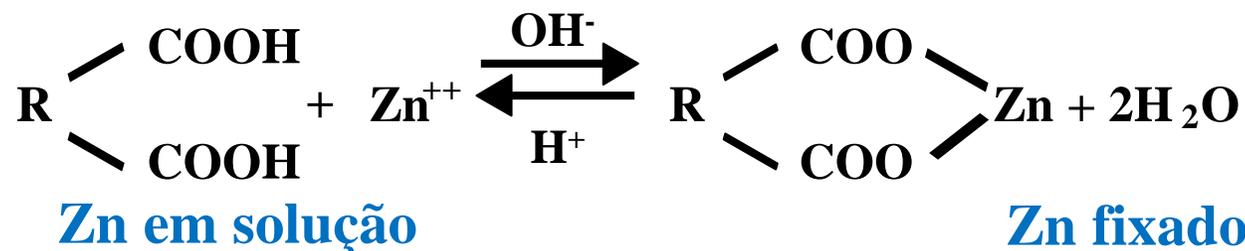
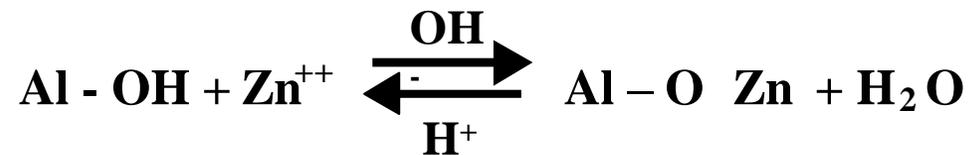
(1) Precipitação pelo OH⁻ na solução do solo



(2) Fixação: Adsorção específica na fração coloidal do solo (Zn, Cu, Mn e Co)

pH Baixo

pH Elevado





pH x Mn⁺⁺

Manganês (VITTI & LUZ, 2000)

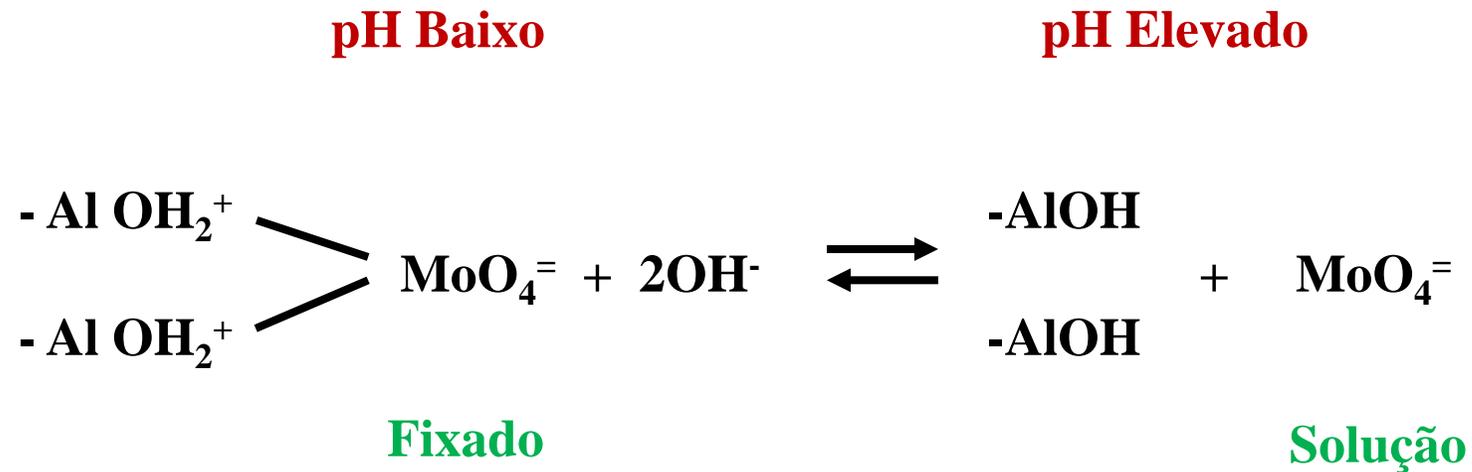
Cultivar	- Mn	+ Mn
	----- mg kg ⁻¹ -----	
Garimpo	29	69
Conquista	9	42

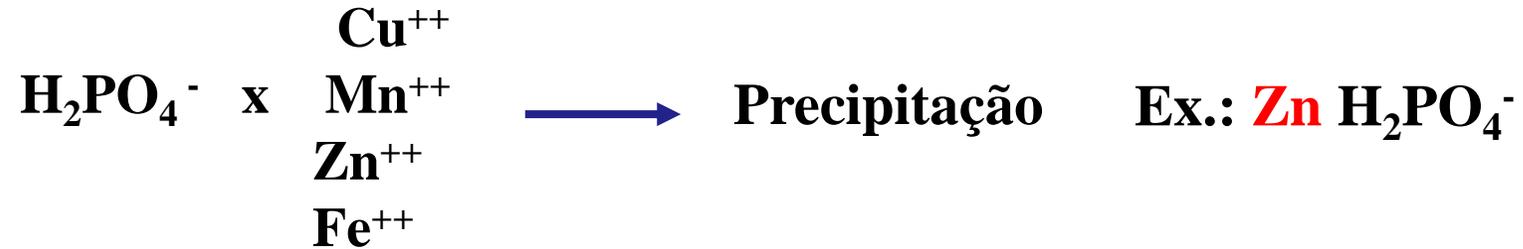
- Mn-EDTA (Sulfato, 10%Mn pp: d = 1,30 g.cm⁻³)

2,0 l.ha⁻¹ = 260 g.ha⁻¹ Mn) mais

0,8 l.ha⁻¹ de óleo mineral = 20 L solução.ha⁻¹

A disponibilidade aumenta com a elevação do pH





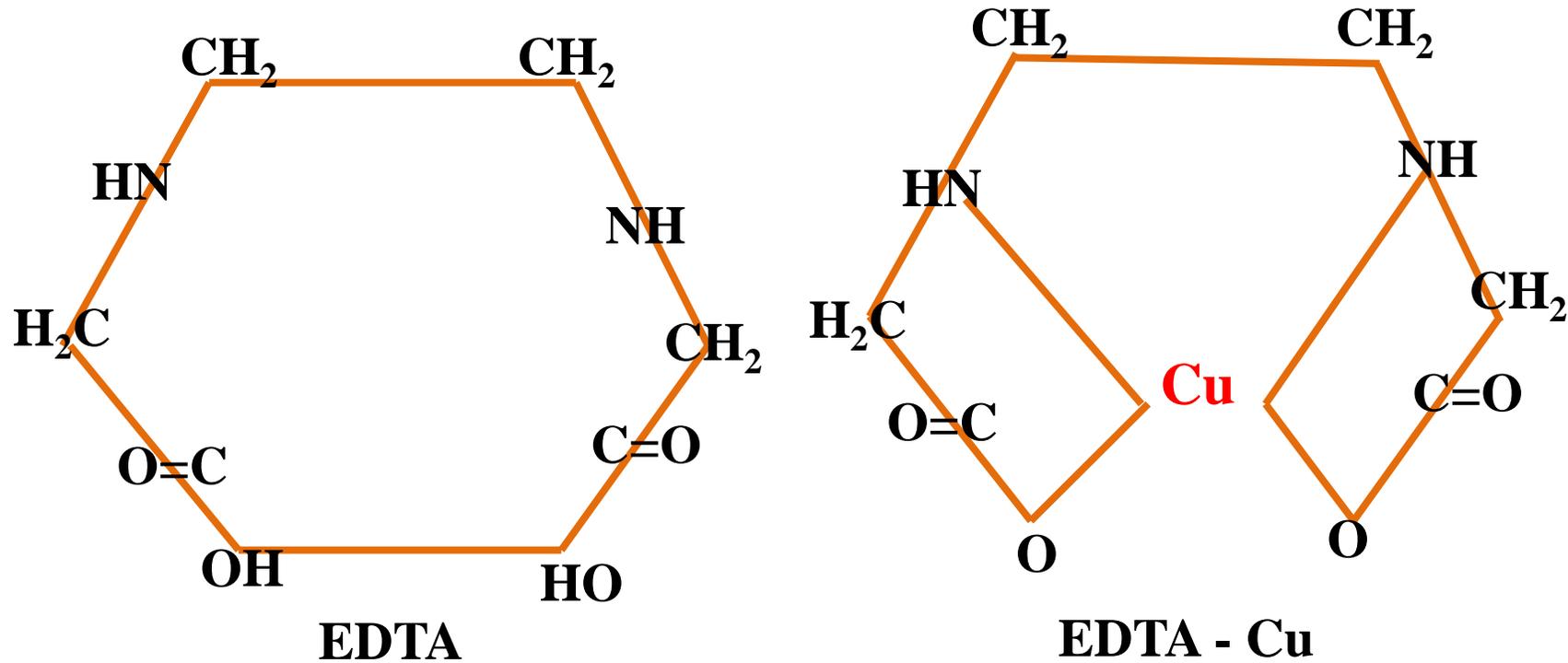
Caso do $\text{Zn}^{++} \Rightarrow$ Inibição não competitiva com o H_2PO_4^-

$\text{H}_2\text{PO}_4^- \rightarrow$ Provoca precipitação do Zn^{++} na raiz = Menor absorção

$\text{H}_2\text{PO}_4^- \rightarrow$ Diminui transporte do Zn^{++} da raiz para a parte aérea



Formação de Quelados pelo aumento da matéria orgânica



Deficiência de Cu em plantio direto estabilizado.



Redução do Mn^{4+} na superfície das raízes das plantas



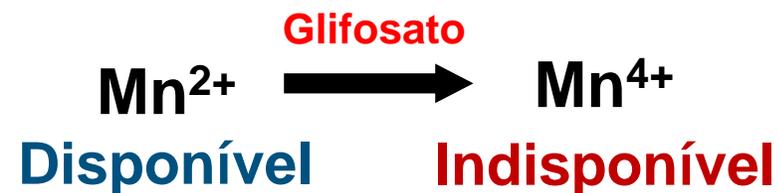
MnO_2 pirolusita (Insolúvel)

Mn x glifosato

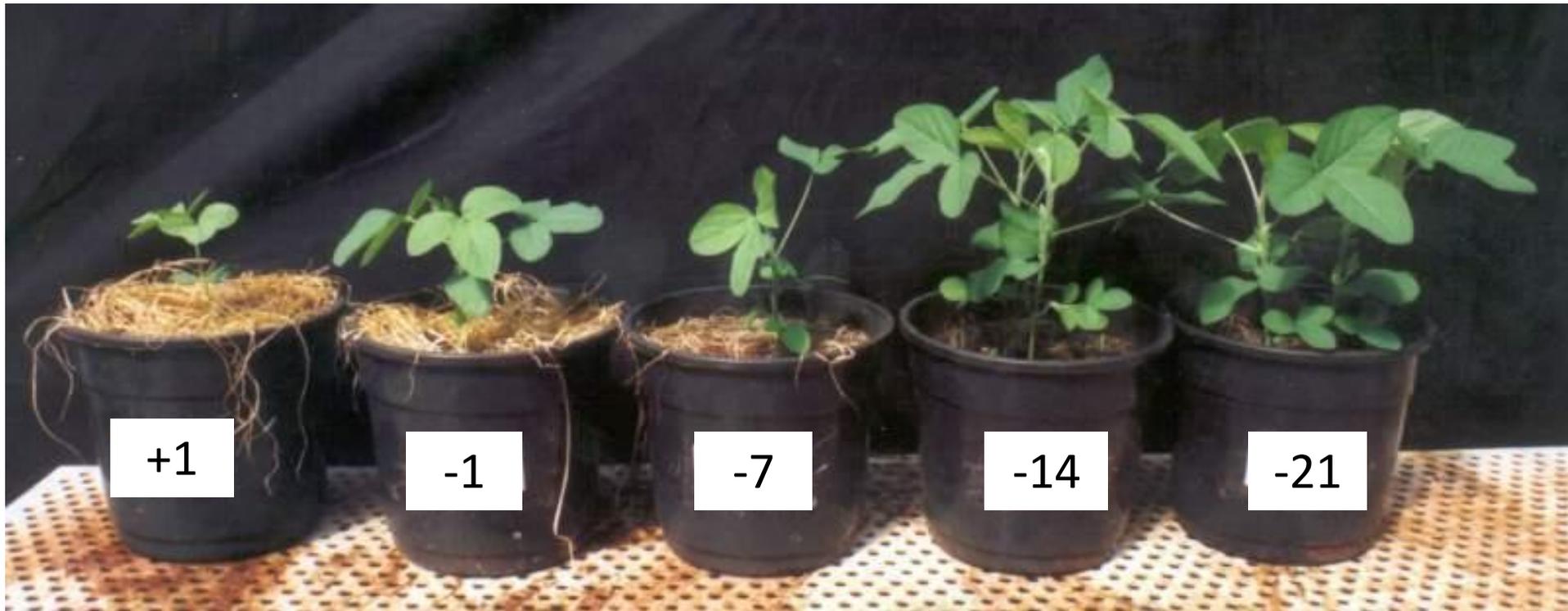
Efeito do glifosato nos organismos redutores de Mn da rizosfera, 3 semanas após sua aplicação na soja RR

Tratamentos	Organismos redutores de Mn *	Organismos oxidantes de Mn*
Sem glifosato	7.250	750
Com glifosato	740	13.250

* colônias por grama de solo

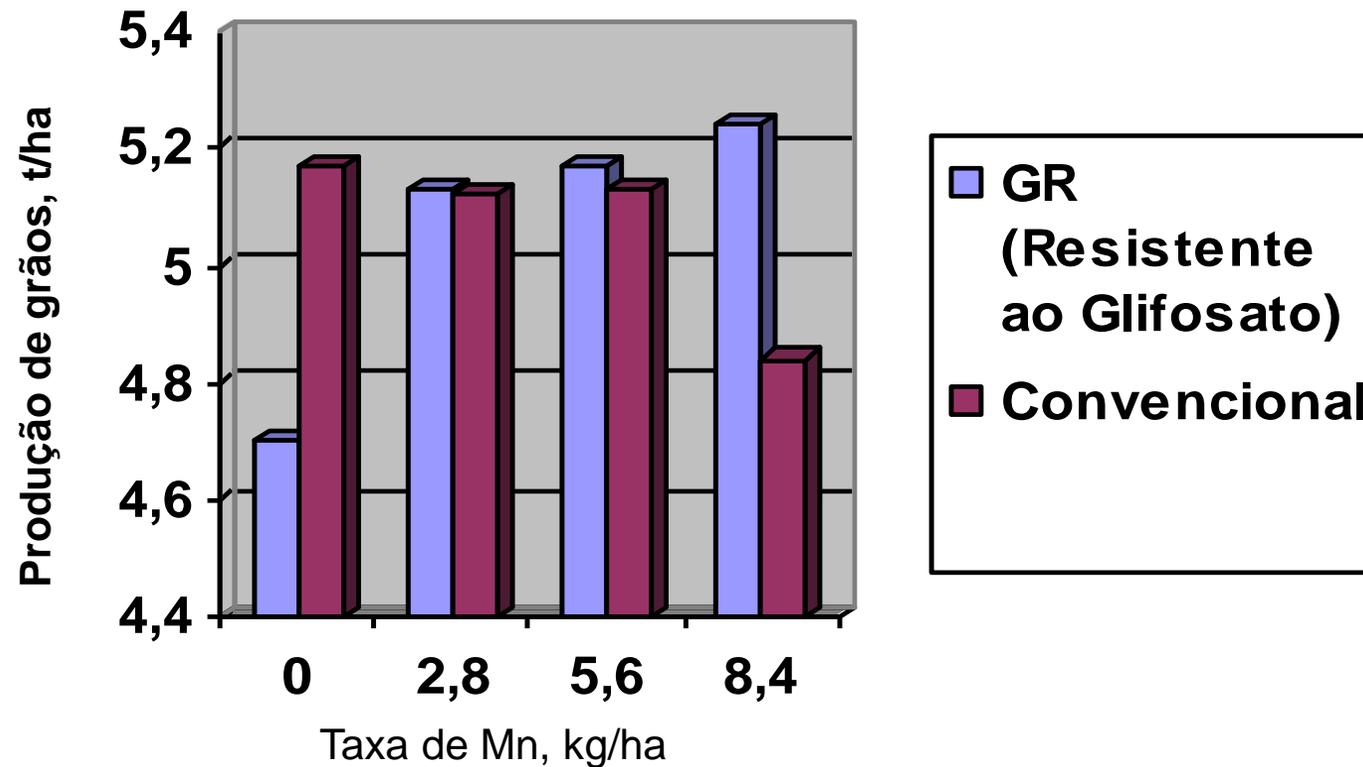


Efeito do intervalo de tempo entre a dessecação e a semeadura da soja



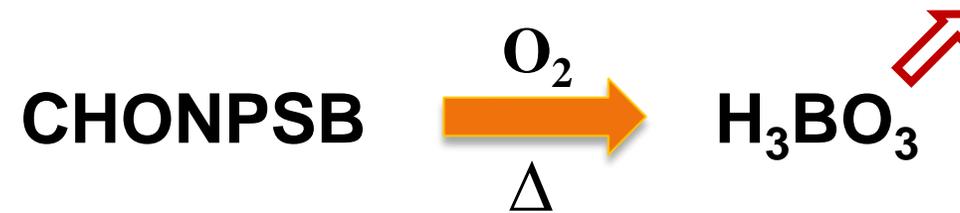
Melhor desenvolvimento da planta após 2+ semanas da dessecação

Resposta da produção de soja na aplicação de Mn, 2005-2006



Fonte: BETTER CROPS WITH PLANT FOOD, 2007 Number 4.

A queima da palhada, ocasiona volatilização de boro



Altas Produtividades (Lei do Mínimo)



Potencial produtivo da cana-de-açúcar: +/- 300 t ha⁻¹

Inorgânicas (Minerais)

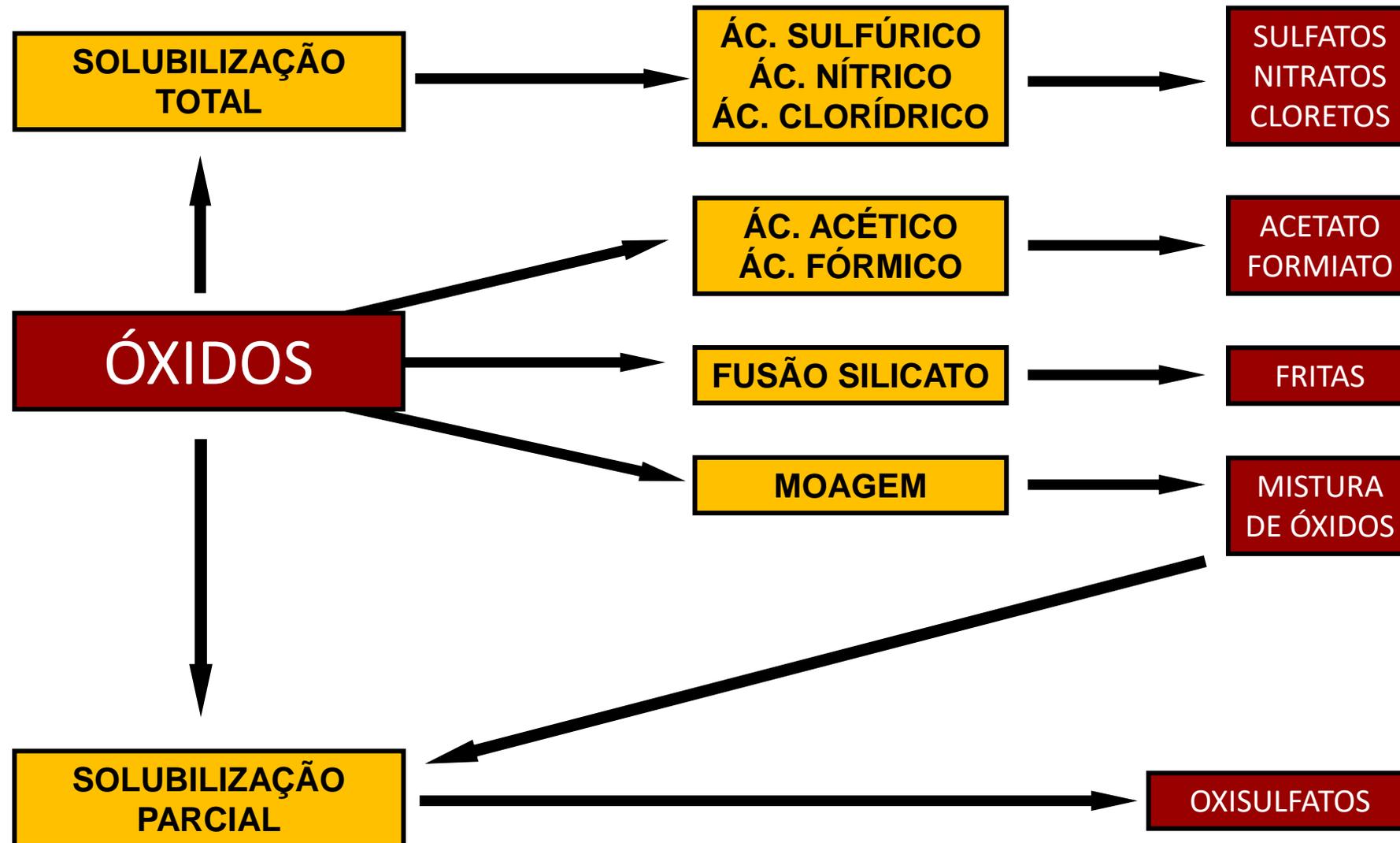
- Ácidos
- Sais
- Óxidos e carbonatos
- Oxisulfatos
- Silicatos (F.T.E.)
- Fosfitos

Orgânicas

- Quelados
- Metalosatos
- Ác. Fúlvicos e Húmicos



Processo simplificado e fontes de micro nutrientes metálicos (Mn/Zn/Cu/Fe/Co/Ni).



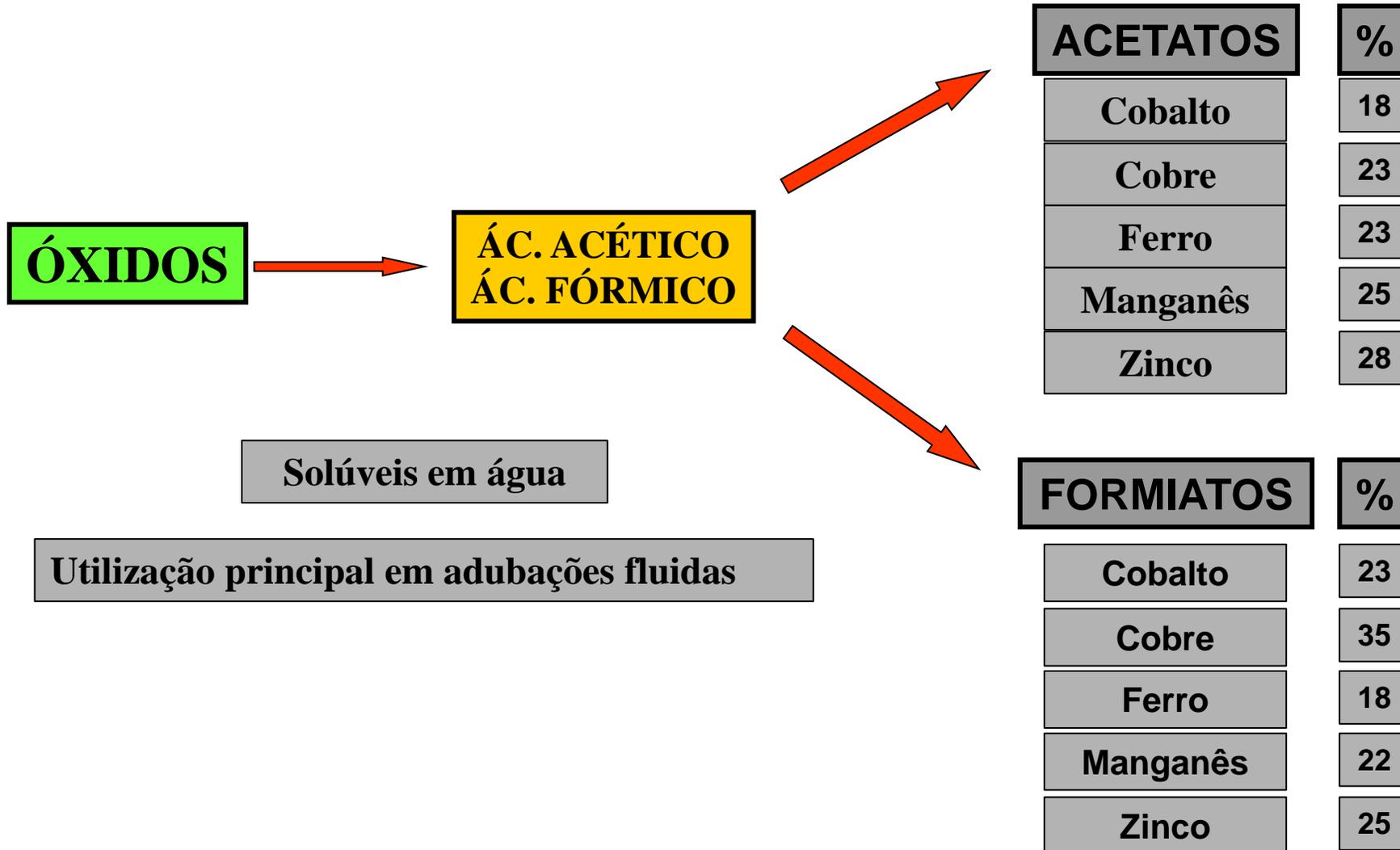
Sais Solúveis de Micronutrientes Metálicos

Nutriente	%		
	SULFATOS	NITRATOS	CLORETOS
Co	20	17	34
Cu	24	22	20
Fe	Férrico (Fe ⁺³)	23	11
	Ferroso (Fe ⁺²)	19	-
Mn	26	16	25
Ni	19	-	-
Zn	20	18	26

- ✓ Sólidos solúveis em água
- ✓ Utilização principal em adubações fluidas
- ✓ Produção de quelatos

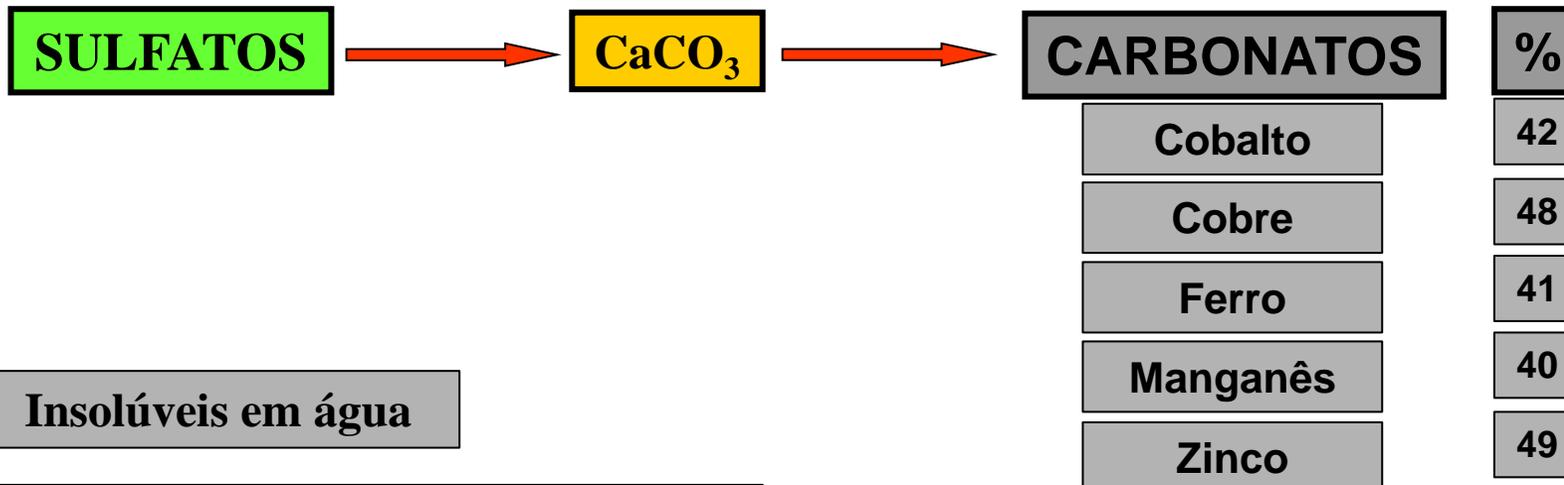
Sais

Cu: Sulfato de cobre: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	24% Cu → PS = 22
Mn: Sulfato de manganês: $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	25-28% Mn → PS = 105
Zn: Sulfato de zinco: $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	21-22% Zn → PS = 75
Mo: Molibdato de sódio: $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	39% Mo → PS = 56
Molibdato de amônio: $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$	48% Mo → PS = 40
Molibdato de potássio: K_2MoO_4	28% Mo



Exemplo de Acetato
→ $Zn(C_2H_3O_2)_2$

Exemplo de Formiato
→ $Zn(HCO_2)_2$



Exemplo de Carbonato
→ ZnCO₃

Insolúveis em água

Utilização em adubações sólidas

Aceito em agricultura orgânica



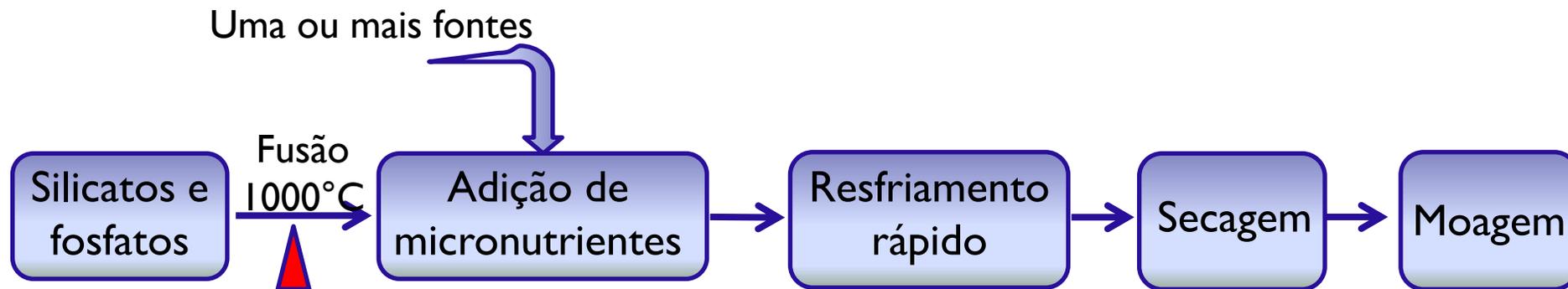
- Solubilização parcial de matérias-primas, com objetivo de aumentar a solubilidade dos fertilizantes
- Frações total + solúvel em água + fração solúvel em ácido cítrico (HCl 2%) ou citrato neutro de amônio (CNA+H₂O 1:1)
- Farelado e granulado
- Aplicado individualmente ou em misturas com fertilizantes NPK

Produtos	Zn	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Co
A	15	2,0	1,5	--	4,0	0,20	--
B	7,0	2,5	1,0	4,0	4,0	0,10	0,10
C	9,0	1,8	0,8	--	2,0	0,10	--

Importante:

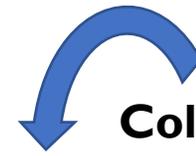
- Zn maior concentração em relação aos demais
- Basear recomendação na concentração de **B**

Produtos vítreos cuja solubilidade é controlada pelo tamanho das partículas e por variações na composição da matriz.

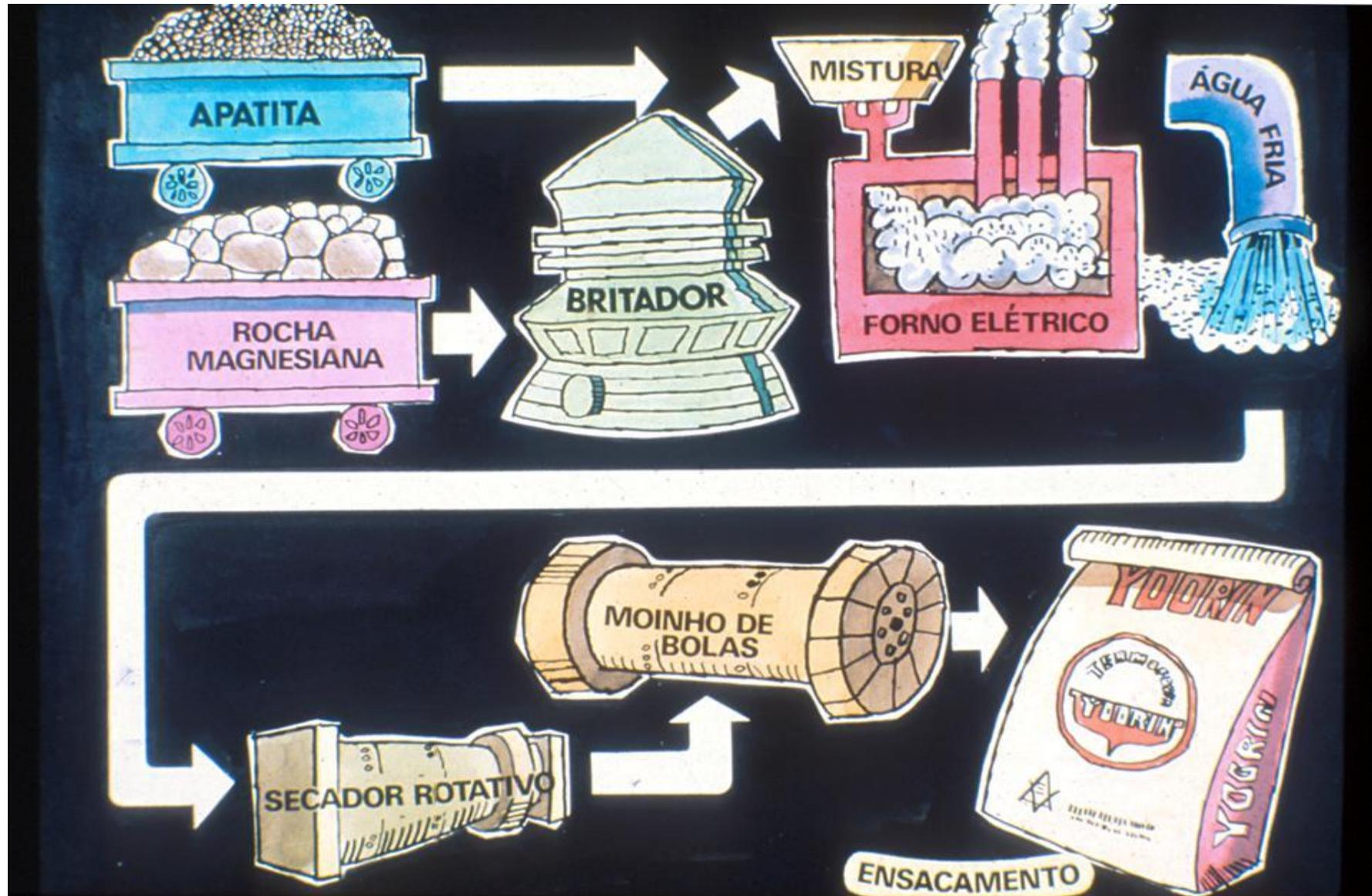


Mais eficientes: pó fino, lanço com incorporação, solos mais arenosos, chuvas intensas, altas taxas de lixiviação

Boro silicatado (FTE)



Colemanita / Hidroboracita

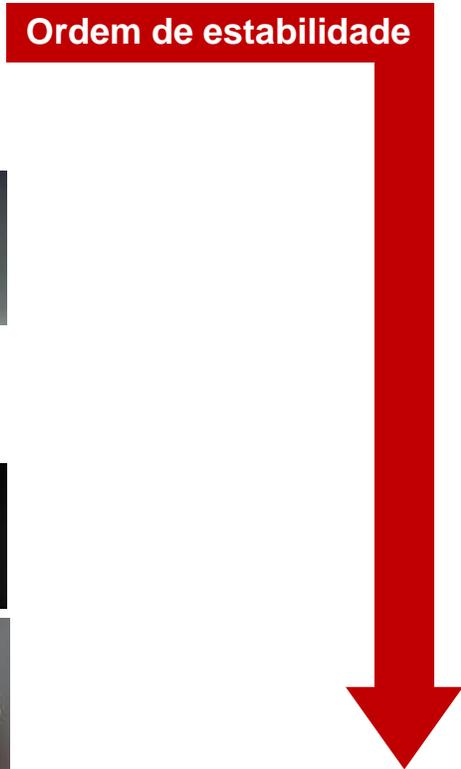


Boro no solo: Minerais



Regiões Áridas
pH Alcalino

1. **Tincal (Bórax)** → Borato de sódio ($Na_2O \cdot 2B_2O_3 \cdot 10H_2O$) 
2. **Kernita** → Borato de sódio ($Na_2O \cdot 2B_2O_3 \cdot 4H_2O$) 
3. **Ulexita** → Borato de cálcio e sódio ($Na_2O \cdot 2CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 16H_2O$) 
4. **Colemanita** → Borato de cálcio ($CaB_4O_7 \cdot 6H_2O$) 
5. **Hidroboracita** → Borato de cálcio e magnésio ($CaO \cdot MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 6H_2O$) 



Minerais que contêm Boro utilizados pela indústria de fertilizantes

Borato de Sódio



Tincal
 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Solúvel em água
 (2,65 g 100ml⁻¹)
 35% B₂O₃
 → 11%B



Kernita
 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Solúvel em água
 (1,9 g 100ml⁻¹)
 48% B₂O₃
 → 15 %B

Borato de Sódio e Cálcio



Ulexita
 $\text{Na}_2\text{CaB}_{10}\text{O}_{17} \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Parcialmente solúvel em água
 (1,09 g 100ml⁻¹)
 32-48% B₂O₃
 → 10-15%B

Borato de Cálcio

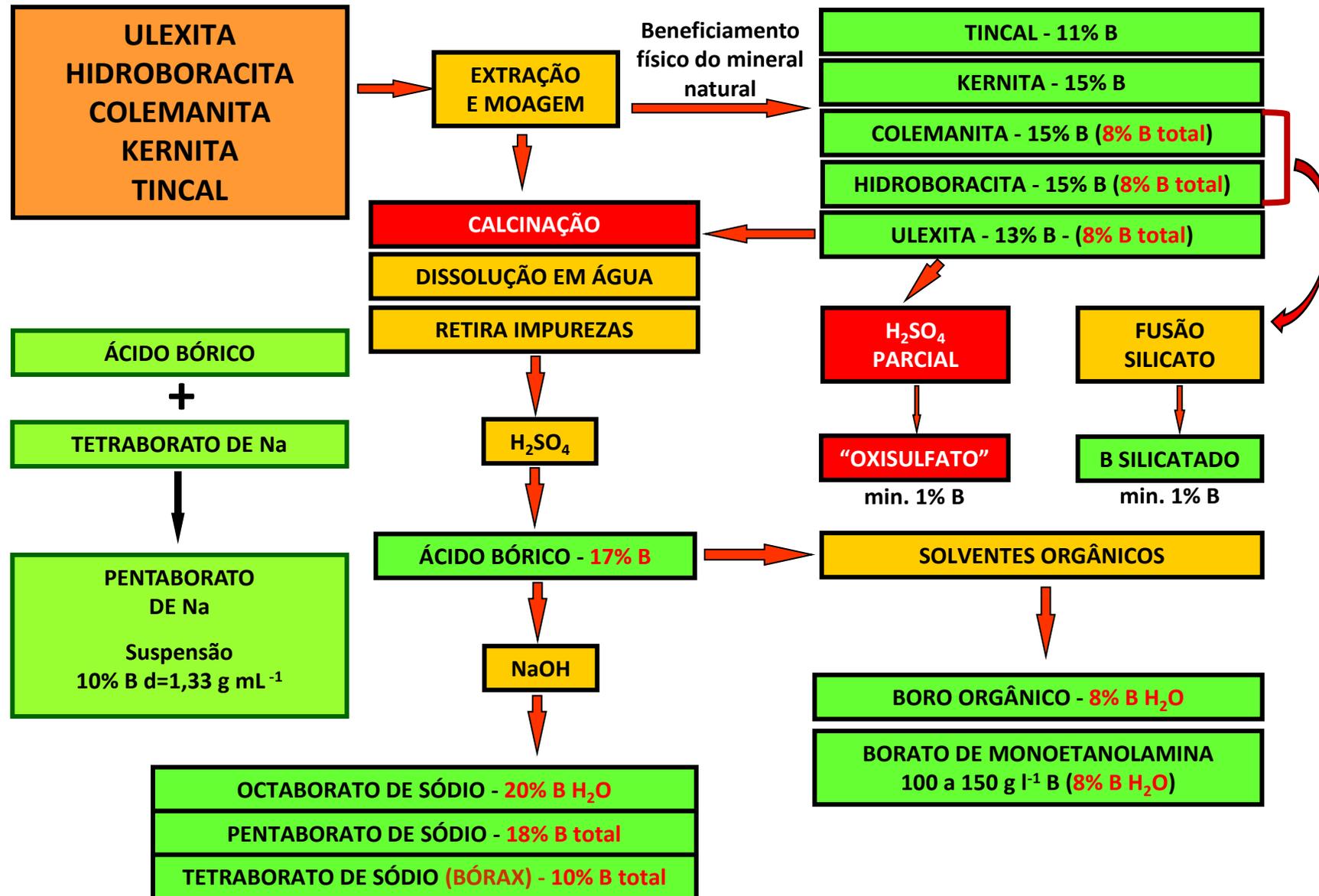


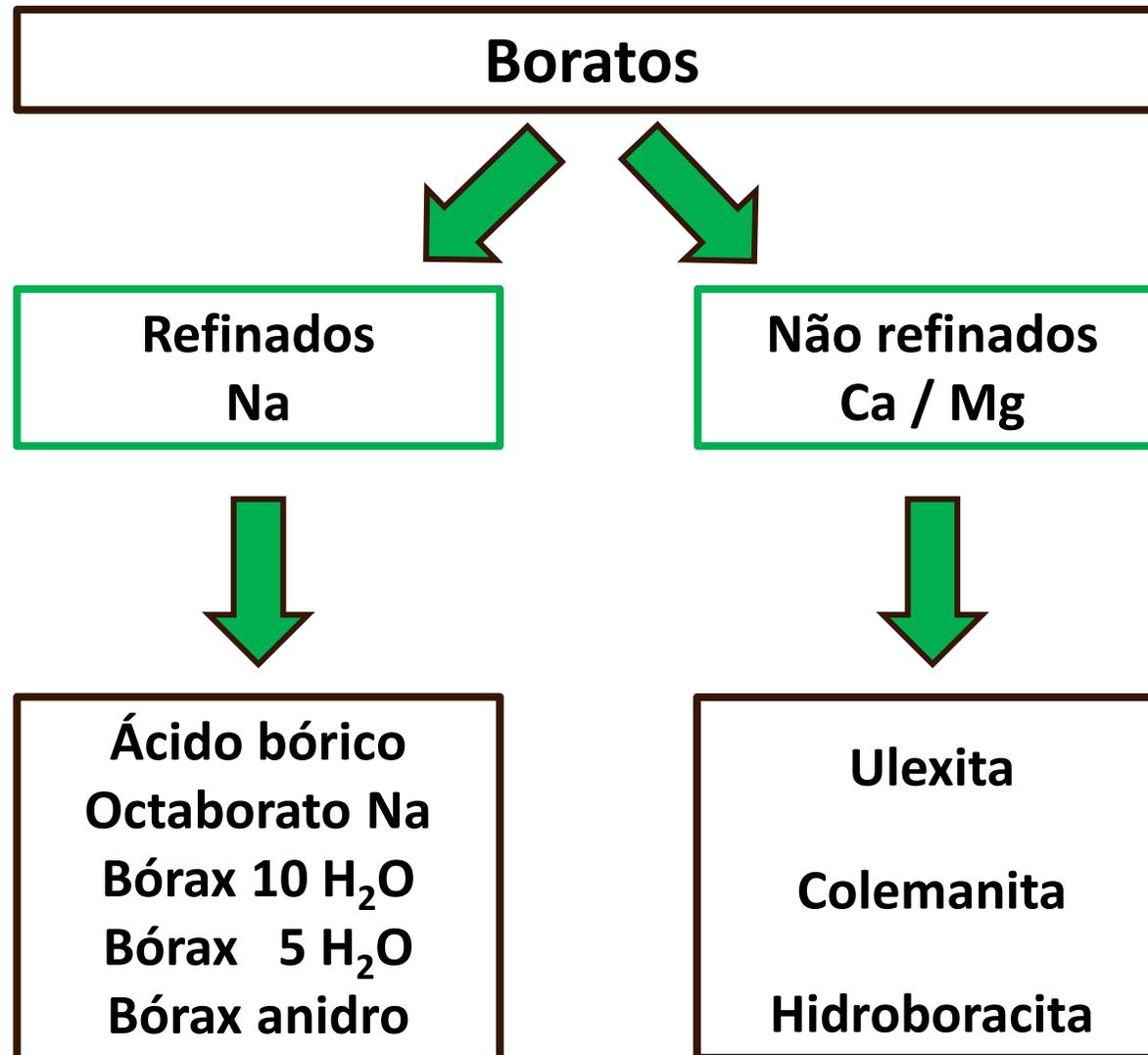
Colemanita
 $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Insolúvel em água
 (0,47 g 100ml⁻¹)
 38-42% B₂O₃
 → 12-13%B

Borato de Cálcio e Magnésio



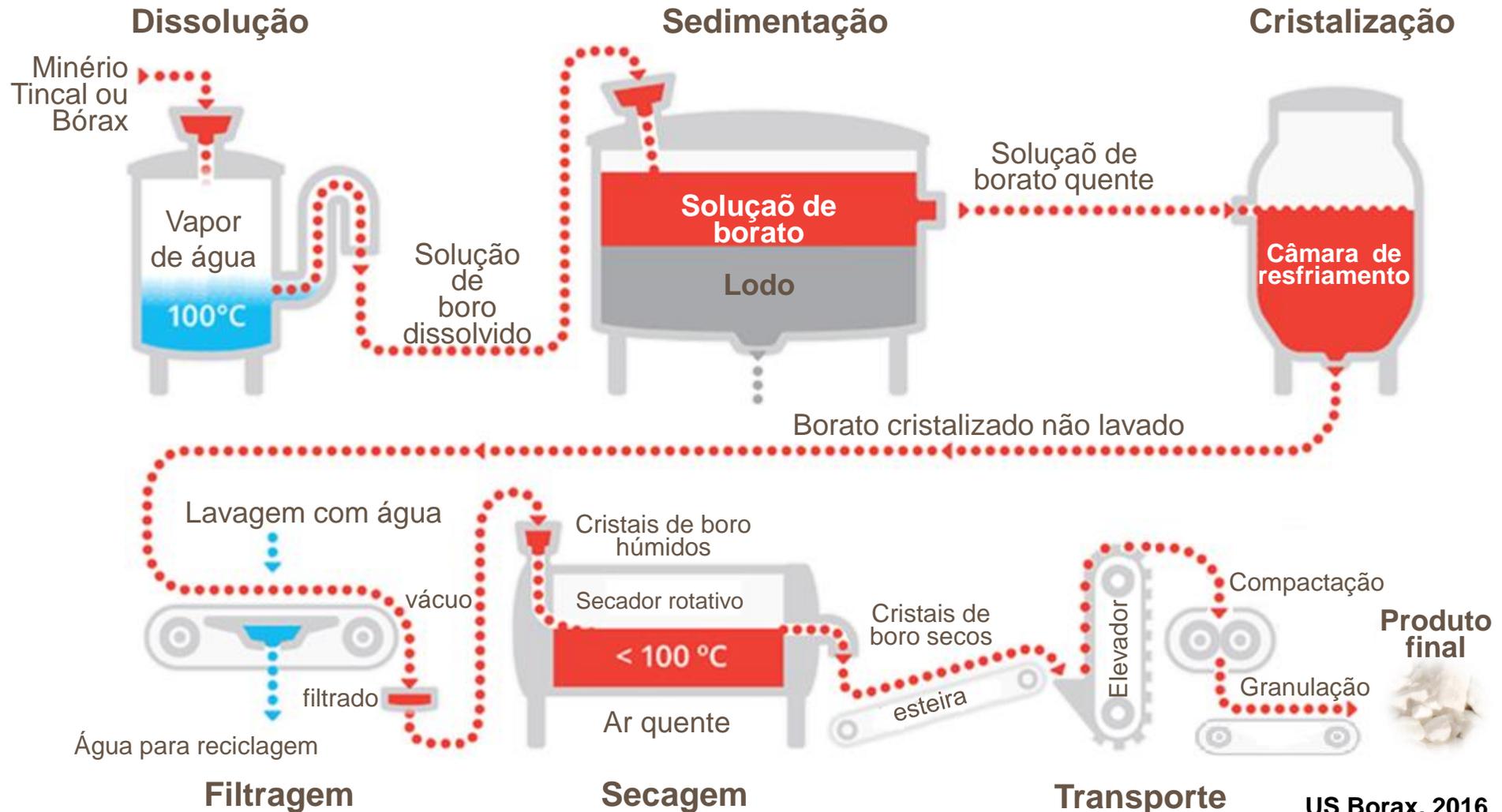
Hidroboracita
 $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Insolúvel em água
 (0,08 g 100ml⁻¹)
 48% B₂O₃
 → 15%B





Processo de obtenção de Boratos Refinados

Este processo de refinação é usado só com Tincal/Bórax (Borato de sódio)

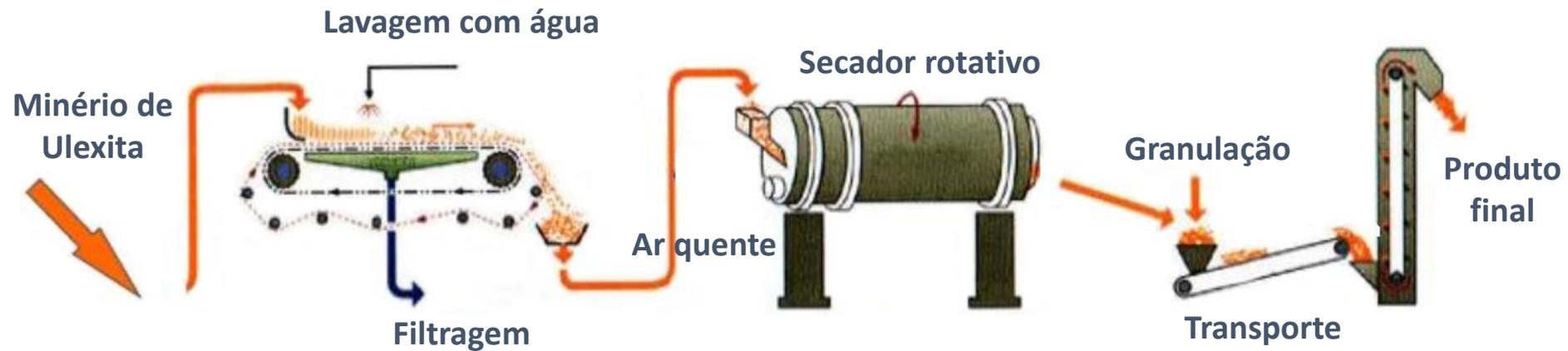


Calcinação da ulexita a altas temperaturas

Processamento do minério de ulexita

✓ - Ulexita é borato cálcio-sódio

Calcinação



- ✓ A calcinação (alta temperatura de secagem) é feita para aumentar a % de B através da remoção de H₂O.
- ✓ Várias alterações mineralógicas e estruturais ocorrem a temperaturas mais altas.
- ✓ A desidratação de minérios diminui a solubilidade em água.

Solubilidade em água de diferentes fontes de ulexita

Ulexitas
Calcinadas

- ✓ A consistência dos boratos minerais é bastante variável.
- ✓ Todas as amostras de ulexita testadas continham $\geq 10\%$ de material não dissolvido

Fontes de B e a % indicado no rótulo	Solubilidade em água (água quente)	Conteúdo de CaO	Concentração de Arsênio (mg dm^{-3})
Ulexita 15% B	5,4%	19%	141
Ulexita 15% B	3,8%	18%	28
Ulexita 10% B	4,5%	13%	27
Ulexita 10% B	7,4%	21%	157

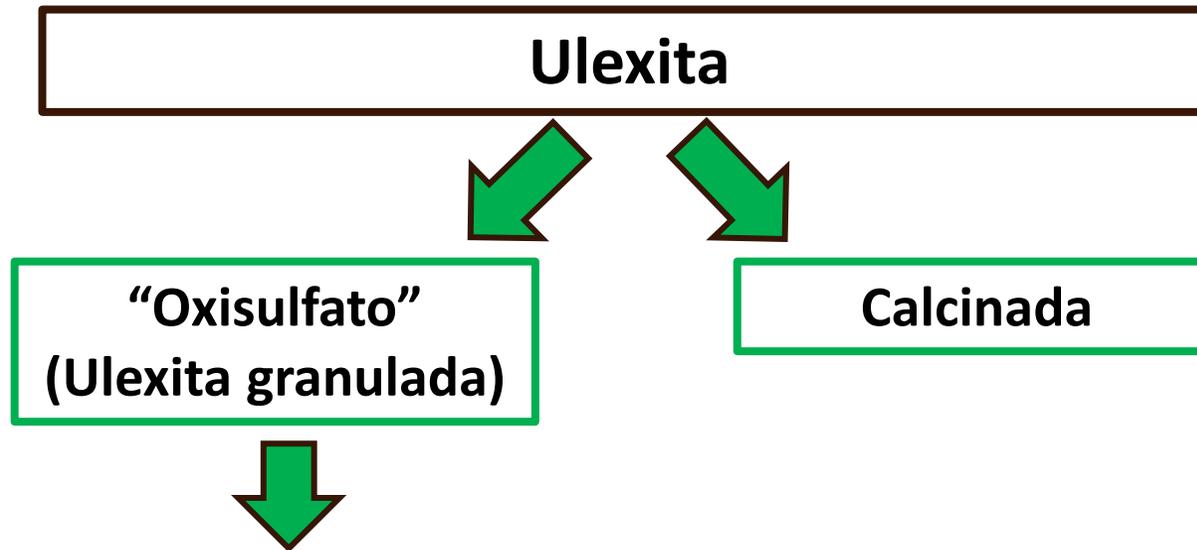
Fonte: US Borax, 2016

Fórmula química	Grau de hidratação	Concentração de B	Solubilidade
$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Alto	6 a 8% de B	Maior
$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Médio	10 a 12% de B	Média
$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Baixo	12 a 15% de B	Menor

Granulação com H_2SO_4

Fonte: Silvano, R.G. (2020)

Ulexita oxissulfato x Ulexita calcinada

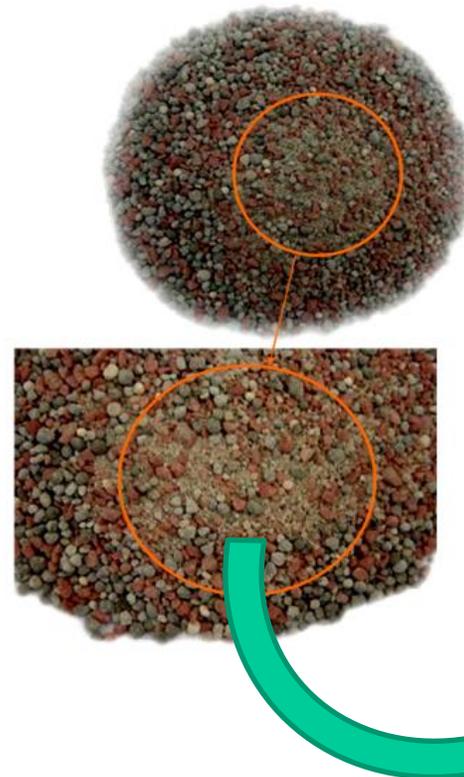
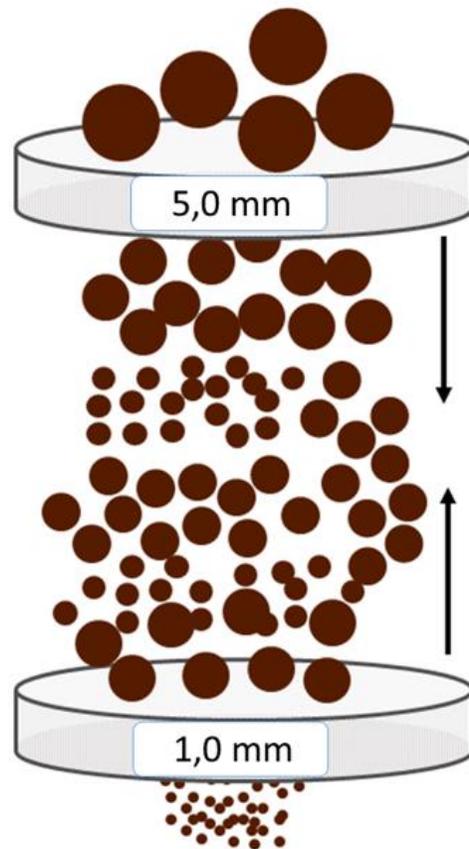


- ✓ Solubilidade > 90% H₂O → característica da fonte e não do produto
- ✓ Dureza
- ✓ Uniformidade dos grânulos
- ✓ Tamanho dos grânulos → 2 a 4 mm
- ✓ Baixo teor de metais pesados

Legislação: Granulometria

A legislação permite qual granulometria?

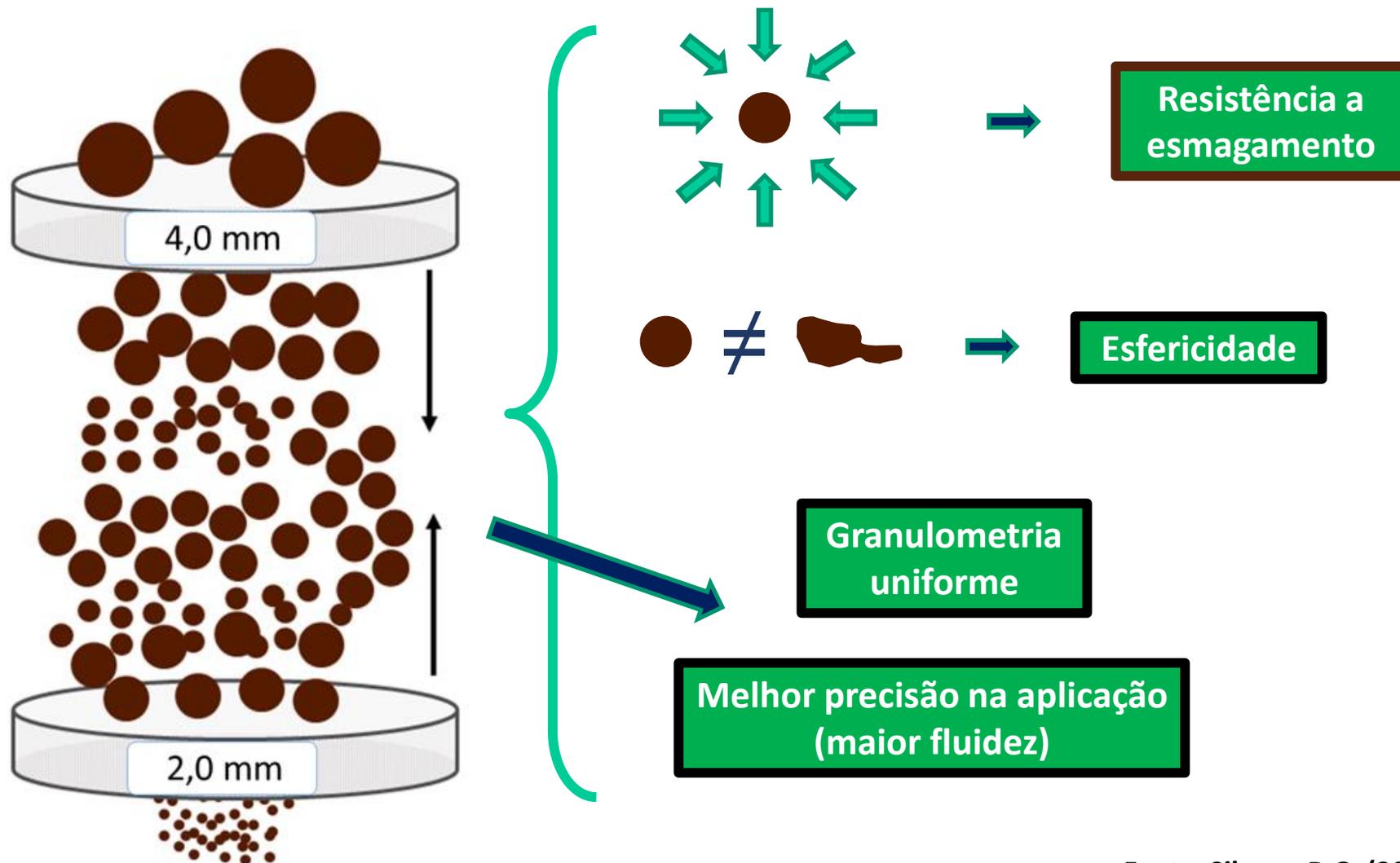
Qualidade que o mercado oferece



**A legislação permite
que o fertilizante
fique entre 1 e 4,8 mm
para ser entregue ao
Produtor rural**

**Fertilizantes convencionais
Má qualidade**

Matérias primas selecionadas e peneiradas: Ulexita - oxissulfato



Legislação x Metais pesados

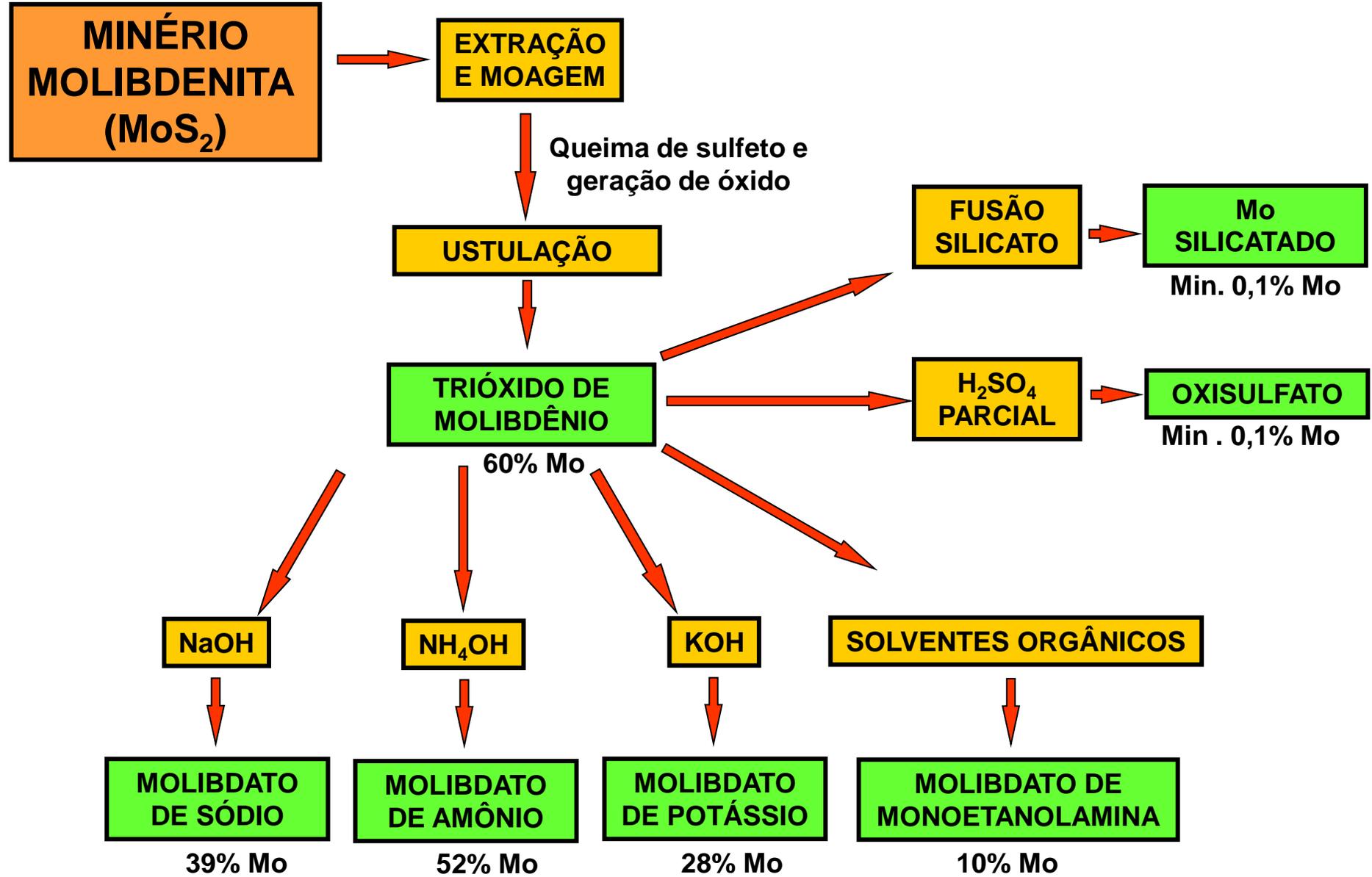
O que a Legislação exige/permite que um fertilizante tenha de metais pesados?

Limites máximos de metais pesados tóxicos admitidos em fertilizantes minerais que contenham o nutriente fósforo, micronutrientes ou com fósforo e micronutrientes em mistura com os demais nutrientes.

Metal pesado	Valor admitido em mg kg ⁻¹ por ponto percentual (%) de P ₂ O ₅ e por ponto percentual da		Valor máximo admitido em mg kg ⁻¹ na massa total do fertilizante	
	Coluna A	Coluna B	Coluna C	Coluna D
	P ₂ O ₅	Somatório da garantia de micronutrientes	Aplicável aos fertilizantes minerais mistos e complexos com garantia de macronutrientes primários e	Aplicável aos fertilizantes fornecedores exclusivamente de micronutrientes e aos fertilizantes com
Arsênio (As)	2,00	500,00	250,00	4.000,00
Cádmio (Cd)	4,00	15,00	57,00	450,00
Chumbo (Pb)	20,00	750,00	1.000,00	10.000,00
Cromo (Cr)	40,00	500,00		
Mercúrio (Hg)	0,05	10,00		

Ulexita: borato de cálcio e sódio
($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)



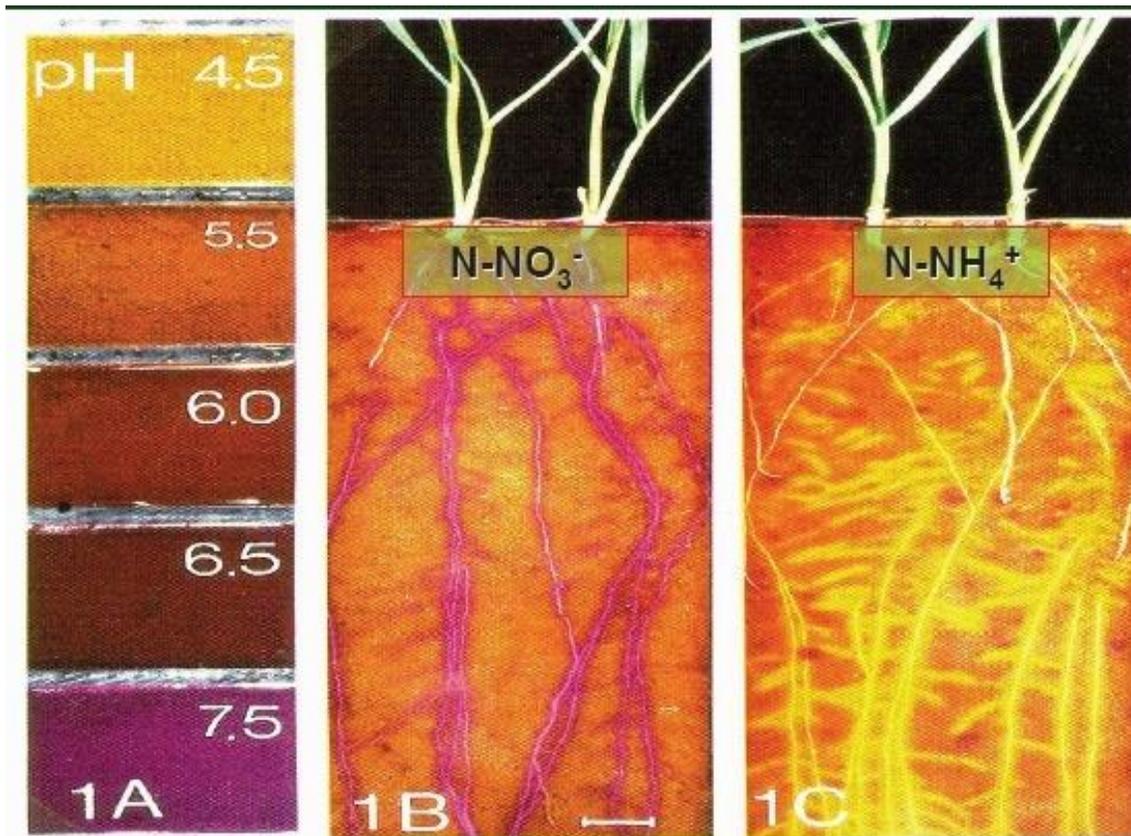


A – CORREÇÃO DE SOLOS ALCALINOS

B – APLICAÇÃO DE MICRONUTRIENTES

Acidificação de solos alcalinos

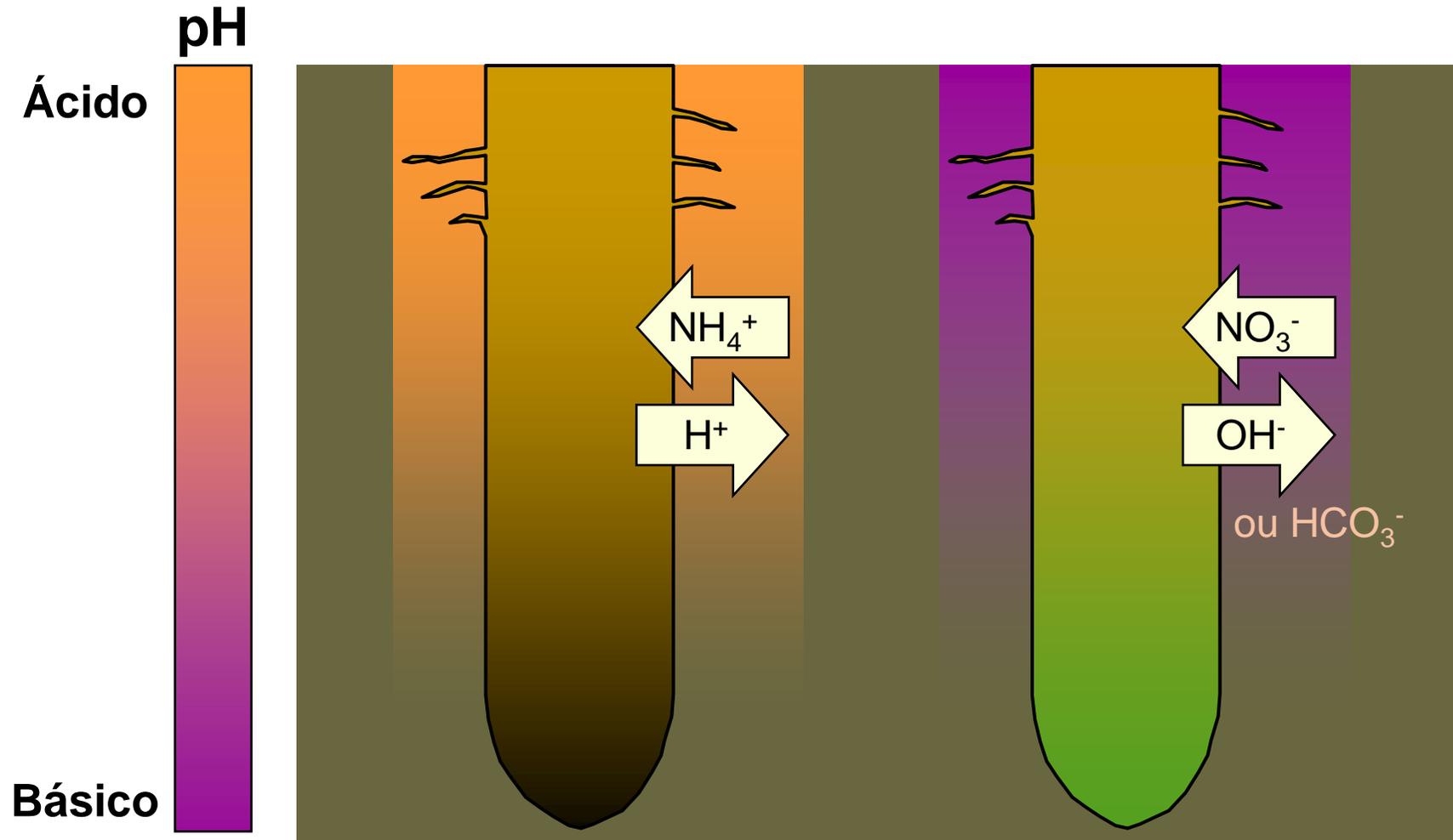
Efeito da forma de N (sulfato de amônio o nitrato de cálcio) sobre o pH do solo e da rizosfera.



1A) Escala de pH

1B) 66 mg N-NO₃⁻/kg de suelo
(≈ 200 kg/ha de N)

1C) 66 mg N-NH₄⁺/kg de suelo
(≈ 200 kg/ha de N)



Fertilização Nitrogenada

Efeito da forma de fornecimento N em solos franco-arenosos (pH6,8) na absorção de micronutrientes (feijão)

Fontes de Nitrogênio	Absorção em mg/m de comprimento de raiz			
	Fe	Mn	Zn	Cu
Nitrato de Cálcio	68	23	11	2,7
Sulfato de amônio*	184	37	21	3,7

*Com inibidor de nitrificação

Rhizotrons



Adaptado de Thompson et. al. 1993, citado por Marschner and Römheld, 1996



Deficiência de Manganês – excesso de calcário Bahia

Malavolta; Fernandes; Romero. 1993.

- ✓ **via solo;**
- ✓ **via foliar;**
- ✓ **via sementes;**
- ✓ **via raízes de mudas e toletes.**



Boro: aplicação via herbicida

Ácido Bórico: $\text{H}_3\text{BO}_3 \rightarrow$ **17% B** **PS = 5,0**

Octaborato de sódio: $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ **20% B** **PS = 10**

Boro Monoetilonamina: (100-150 g l⁻¹ B)

Pentaborato de Sódio: $\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Suspensão - 132 g l⁻¹ B)

**Adubação
Fluida**

PS= produto de solubilidade (g 100ml⁻¹ / kg 100l⁻¹)

Características químicas: H_3BO_3 x octaborato de sódio

Fontes B	Solubilidade		% B
	g.l ⁻¹ a 20°C	PS* (kg 100l ⁻¹)	
Ac. bórico	47,2	5,0	17,0
Octaborato Na	97,0	10,0	20,5

Solubilidade e teor de B



Solubilidade: 2 X maior do Octaborato
Teor de B: 17% a mais de B



100l calda



H_3BO_3 x 5,0 kg x 17% B = 850 g $100l^{-1}$ B
Octaborato: 10 kg x 20,5% B = 2050 g $100l^{-1}$ B



140% a mais de B



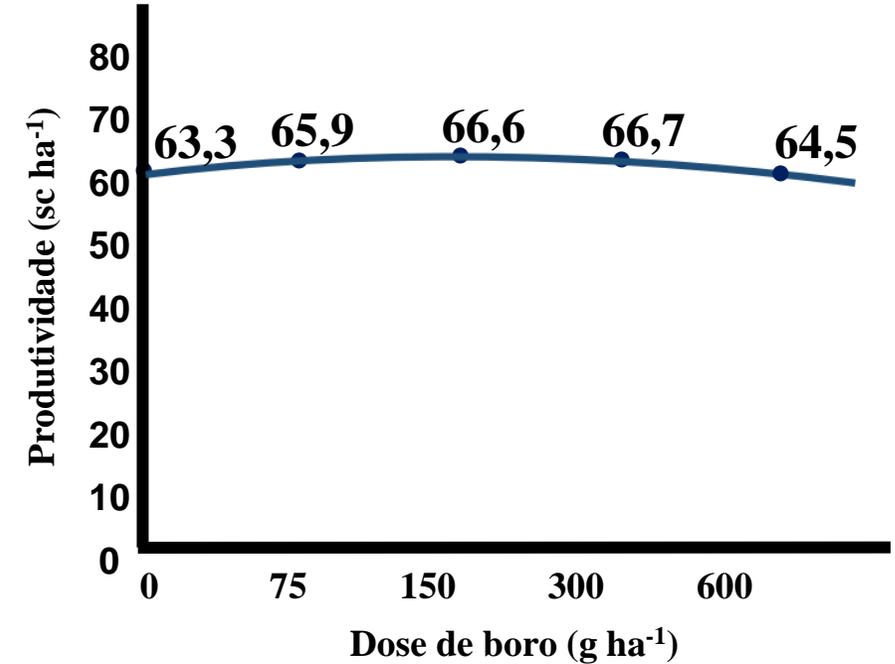
Logística de aplicação



Maior área aplicada

Produtividades de soja (M6410 IPRO) obtidas em função de diferentes produtos e doses de boro em aplicação parcelada em pós-emergência da soja em solo argiloso (teor médio de B).

Soja 2017/2018	
Fontes de boro	Produtividade (sc ha ⁻¹)
Octaborato (20% B)	65,5
Boro MEA (8% B; 105,4 g l ⁻¹)	65,3
Doses de B (g ha ⁻¹)	
0	63,3 ⁽¹⁾
75	65,9
150	66,6
300	66,7
600	64,5
Teste F	
Fontes	NS
Doses	*
F*D	NS
DMS (5%)	-
CV (%)	4,16



- Dose estimada: 150 a 300 g ha⁻¹ B
- Fontes: Octaborato (0,25+0,25+0,25 kg ha⁻¹ e Boro MEA (0,5+0,5+0,5 l ha⁻¹)
- Aplicação parcelada: V4 + R1 + R3

Safra 2017/2018

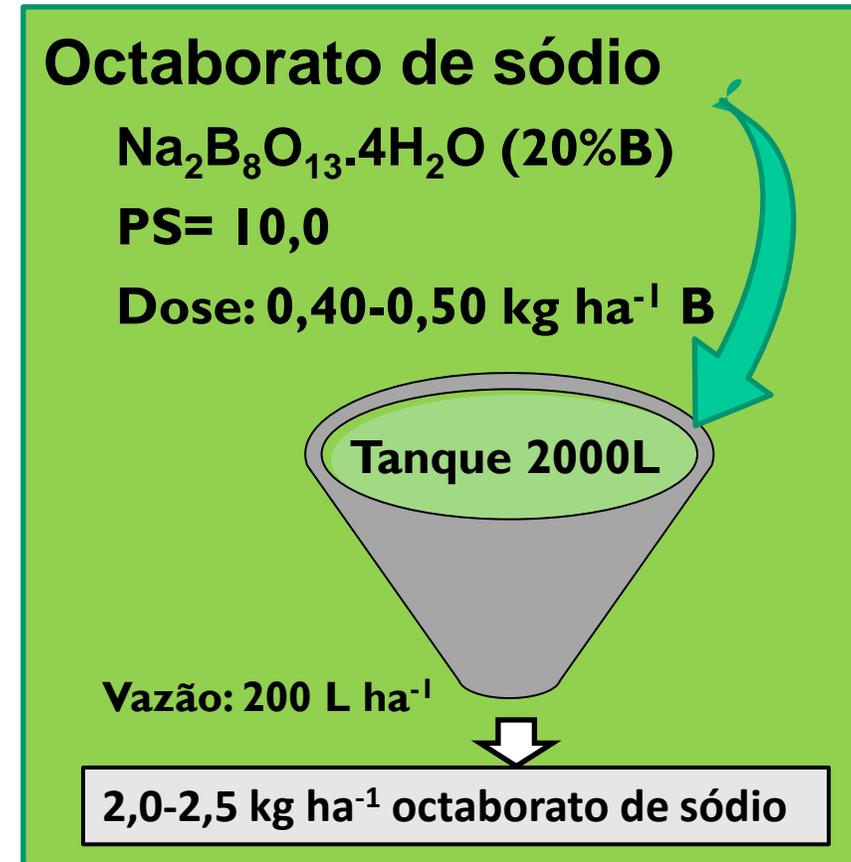
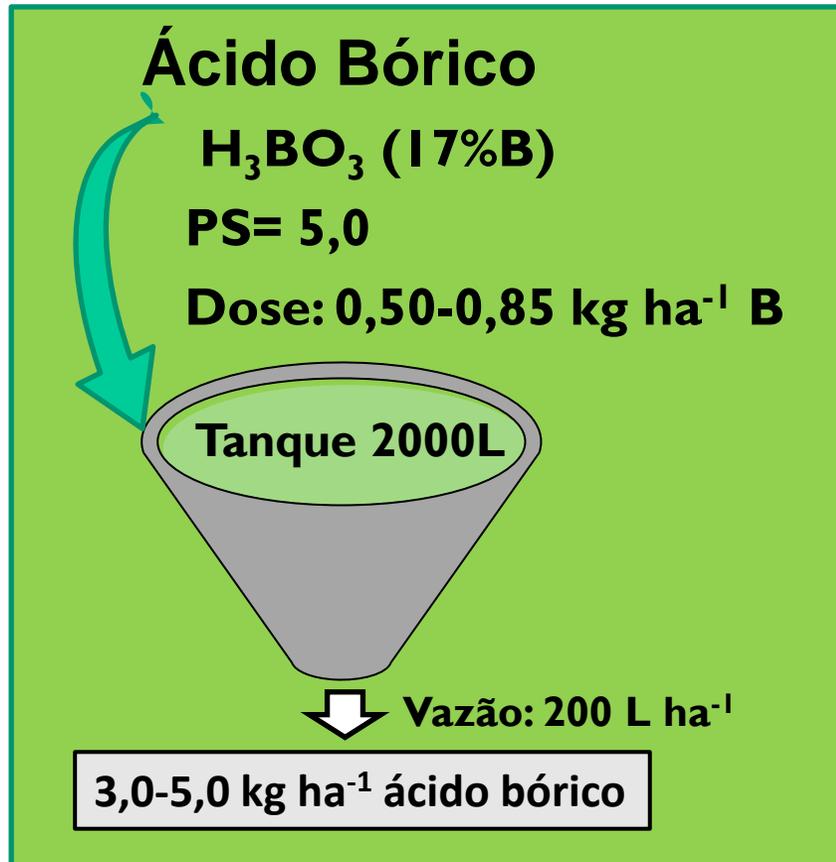
TRATAMENTOS	Doses do p.c.	Doses de B	Épocas de aplicação	Produtividade
	(kg/l ha ⁻¹)	(g ha ⁻¹)		(sc ha ⁻¹)
Controle				82,1 b
Ác. bórico (17% B)	3,0	500	Dessecação	84,8 ab
Boro MEA (8% B)	1,5	120	V4	85,9 ab
Boro MEA (8% B)	0,75 + 0,75	120	V4 + R1	87,3 ab
Boro MEA (8% B)	0,5 + 0,5 + 0,5	120	V4 + R1 + R3	88,0 a
Teste F				*
DMS (5%)				8,5
CV (%)				7,7

Octaborato na dessecação

Estudo de caso (soja – M6210):

- Sítio da Abadia/GO
- Octaborato Na – $2,0\text{kg ha}^{-1}$ ($410\text{ g ha}^{-1}\text{ B}$) = $82,2\text{ sc ha}^{-1}$
- Controle (sem boro): $75,4\text{ sc ha}^{-1}$
- **Ganho: 10% à mais na produtividade ($7,4\text{ sc ha}^{-1}$)**

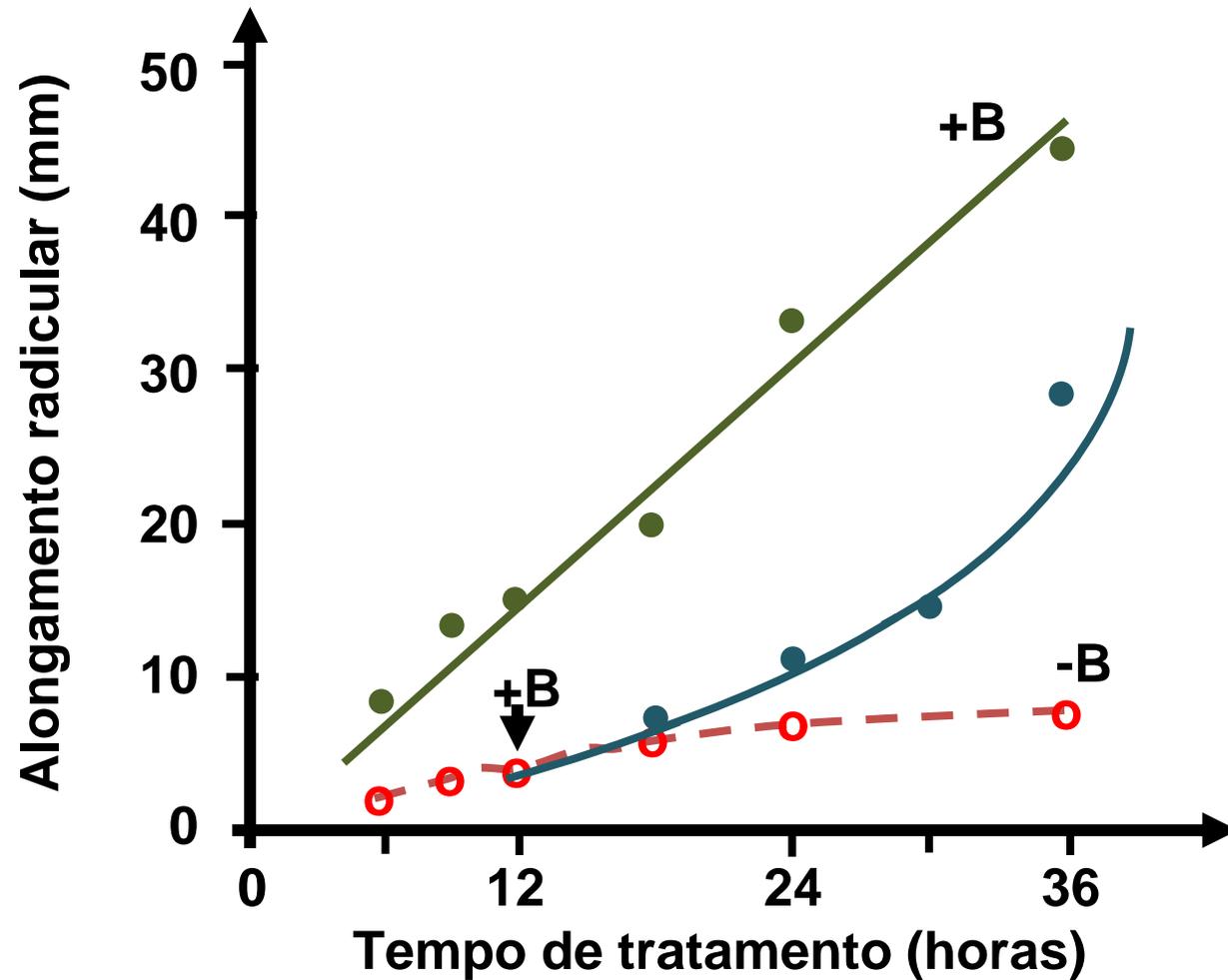
Fonte	Dose		
	Unidade	Produto	Boro
Ácido bórico	kg ha ⁻¹	3,0 a 5,0	0,50 a 0,85
Octaborato de Na		2,0 a 2,5	0,40 a 0,50
Boro MEA	l ha ⁻¹	1,5 a 2,0	0,20 a 0,30
Pentaborato de Na		1,5 a 2,0	0,20 a 0,25



Boro Monoetanolamina (100-150 g l⁻¹ B)	
Pentaborato Na (132 g l⁻¹ B)	
Dose: 0,15 a 0,30 kg ha⁻¹ B	1,5-2,0 l ha⁻¹

BORO Aplicação via Herbicida Ordem da Pré-mistura





- ✓ Sementes de soja com baixo teor de boro danificam permanentemente seus embriões afetando a germinação ou produzindo seedlings defeituosos.
- ✓ A concentração crítica de B na semente de soja causando danos permanentes está entre 7 e 10 mg B kg⁻¹ e para o desenvolvimento normal em solos com baixo B entre 14 e 20 mg B kg⁻¹.
- ✓ Sementes com 10 mg B kg⁻¹ tiveram cotilédones deformados. As com 7 mg B kg⁻¹ tiveram pobre performance com 80% de falha na germinação e não responderam ao suprimento de B no solo

B x seedlings de amendoim



Via solo

Lenta – Duradoura – Preventiva

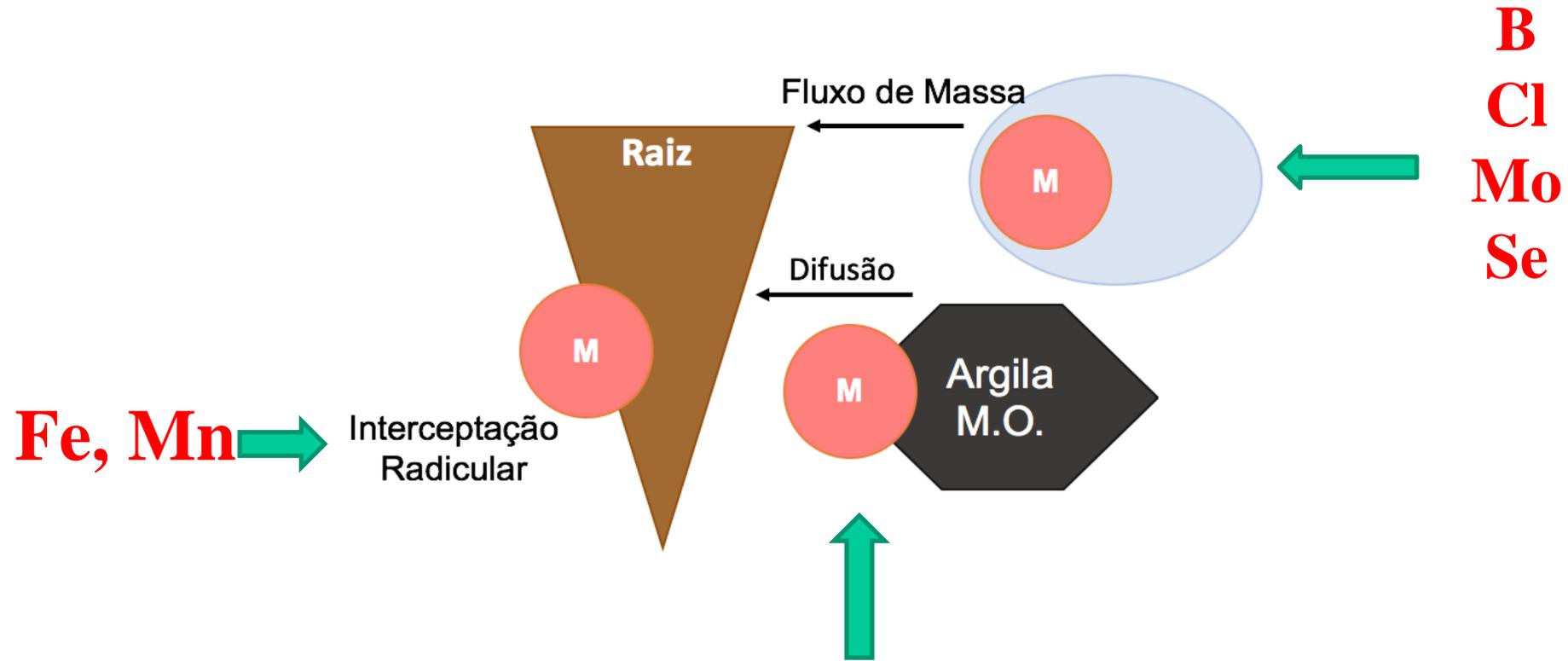


f : Uso eficiente do fertilizante

Aplicação de micronutrientes via solo

Nutriente	Aproveitamento (%)	Fator (f)
B	50 a 60	2,0
Zn, Mn e Cu	20 a 30	3,0 a 5,0

$$\text{ADUBAÇÃO} = (\text{PLANTA} - \text{SOLO}) \times \mathbf{f}$$



Micronutrientes metálicos: Co, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn

Relação entre o processo de contato e a localização dos fertilizantes

Elemento	Processo de contato (% do total)			Aplicação do fertilizante
	Interceptação radicular	Fluxo de massa	Difusão	
Nitrogênio	1	99	0	Distante, em cobertura (parte)
Fósforo	2	4	94	Próximo das raízes
Potássio	3	70	30	Em cobertura
Cálcio	27	73	0	A lanço
Magnésio	13	87	0	A lanço
Enxofre	5	95	0	Distante, em cobertura (parte)
Boro	3	97	0	Área total
Cobre ¹	15	5	80	Próximo das raízes
Ferro ¹	40	10	50	Próximo das raízes
Manganês ¹	15	5	80	Próximo das raízes
Zinco ¹	20	20	60	Próximo das raízes
Molibdênio ²	5	95	0	Área total

(1) Complementação com aplicação foliar.

(2) Aplicação via semente e foliar.

Fonte: Malavolta (1976).

Mn via folhas x Mn via solo: Soja

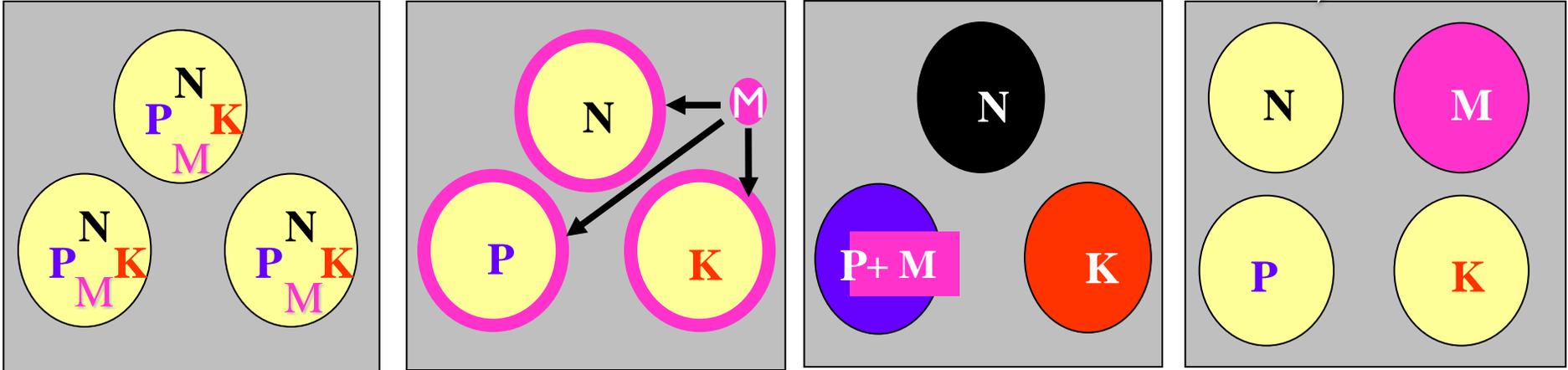
Tratamentos	Produção de grãos (kg ha ⁻¹)	Produção relativa (%)
Controle	2247 b ¹	100
MnSO ₄ 4H ₂ O (350g ha ⁻¹) - foliar	2821 a	125
MnSO ₄ 4H ₂ O (200g ha ⁻¹) - foliar	2769 a	123
Quelado Cl ⁻ (200g ha ⁻¹) - foliar	2782 a	124
Quelado NO ₃ ⁻ (200g ha ⁻¹) - foliar	2788 a	124
Quelado SO ₄ ²⁻ (200g ha ⁻¹) - foliar	2827 a	126
Mancozeb (200g ha ⁻¹) - foliar	2659 ab	118
MnSO ₄ 4H ₂ O (4000g ha ⁻¹) - solo	2499 ab	111
Oxi-sulfato Mn (4000g ha ⁻¹) - solo	2526 ab	112
Valor de F	4,73**	
C.V. (%)	6,83	

1 – Letras minúsculas: comparação em cada coluna, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

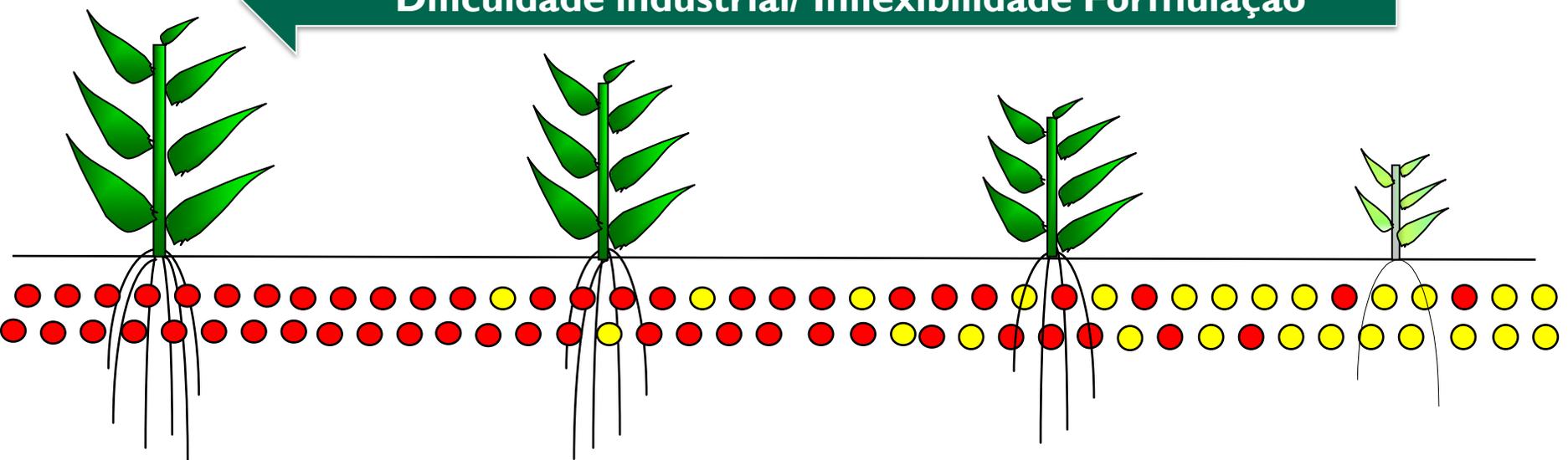
** - Teste F significativo a 1%

Foliar (200g) >>> Solo (4000 g) ⇒ 20x

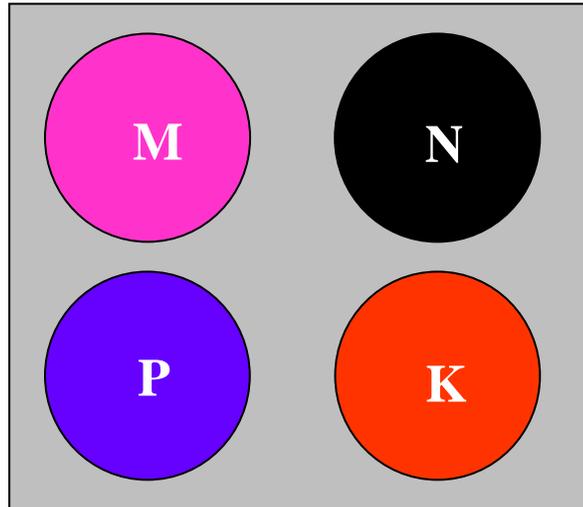
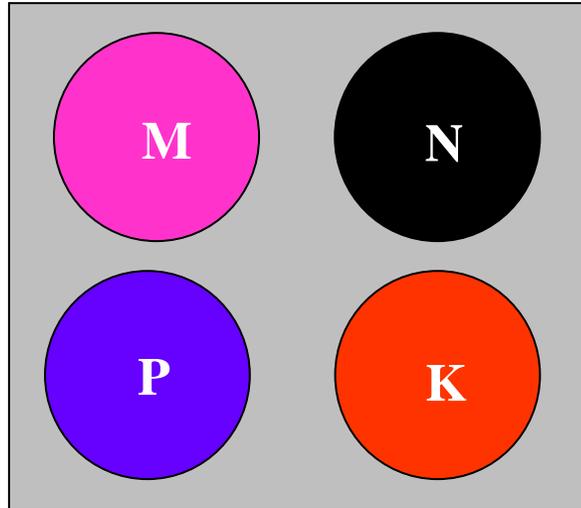
SEGREGAÇÃO



Dificuldade industrial/ Inflexibilidade Formulação



Mistura de grânulos



Vantagens:

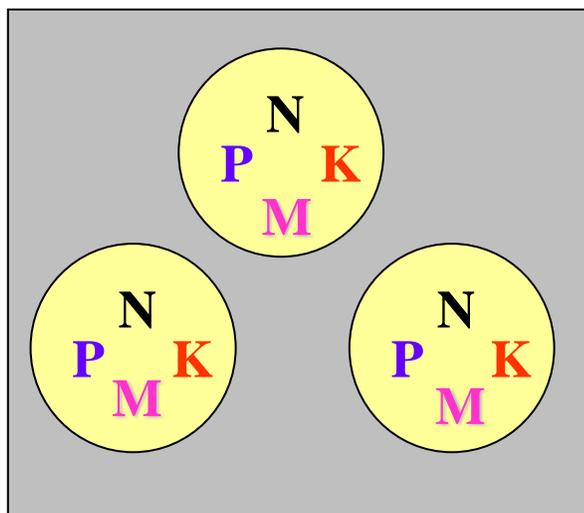
- ✓ Facilidade industrial
- ✓ Maior flexibilidade nas formulações
- ✓ Mais barata

Desvantagens:

- ✓ Maior segregação na distribuição
- ✓ Óxidos insolúveis

➡ Formulação:
03-20-20 + 30 kg t⁻¹ óxidos

Micronutrientes Incorporados – Mistura Granulada



Vantagens:

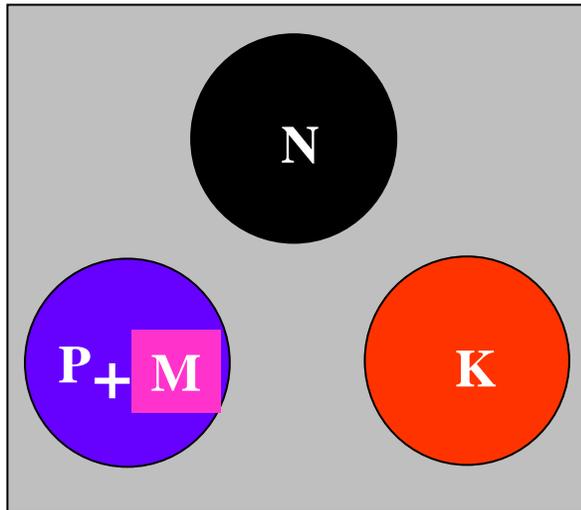
- ✓ Maior solubilidade em HCl, CNA ou água
- ✓ Em todos os grânulos contem a mesma quantidade do micronutriente
- ✓ Maior eficiência na distribuição

Desvantagens:

- ✓ Dificuldade na estrutura fabril – mais cara
- ✓ Inflexibilidade na formulação NPK

➔ Formulação: 03-20-20 + micronutriente na mesma proporção em todos os grânulos

Micronutrientes agregado ao Superfosfato Simples



Vantagens:

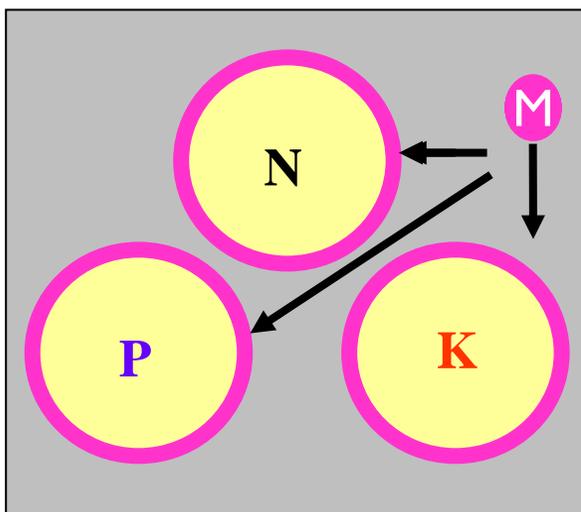
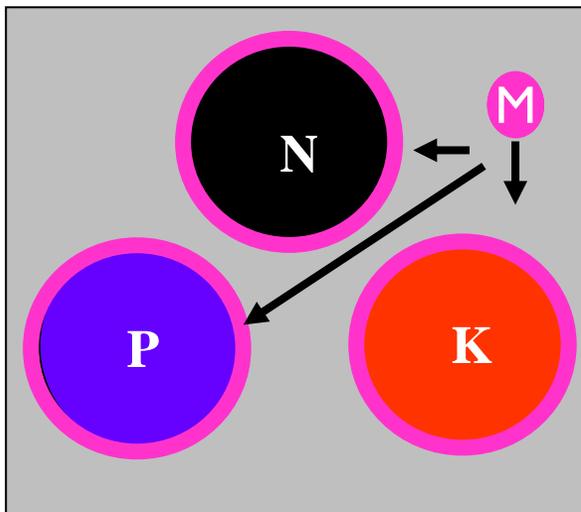
- ✓ Facilidade de formulação NPK
- ✓ Obtenção de formulas específicas

Desvantagens:

- ✓ Apenas em formulações com fonte de P_2O_5 com SPS

➡ Formulação: 03-20-20 + micronutrientes em parte dos grânulos (300 – 400 kg t⁻¹)

Micronutrientes revestidos



Agentes agregantes → Água, óleos, ceras, soluções de polifosfatos de amônio ou UAN

Vantagens:

- ✓ Flexibilidade nas formulações
- ✓ Menor segregação
- ✓ Maior eficiência
- ✓ Micronutriente na mesma proporção em todos os grânulos de macros

Ex: Recobrimento por agregação física na ureia
→ Cu e B – Menor volatilização.

Desvantagens:

- ✓ Qualidade do agente agregante e da fonte de macronutriente primário

➡ Formulação: 03-20-20 + 30 kg t⁻¹ óxidos (micropulverizados)

SÓLIDA

- ✓ **Fontes de B:**
 - ✓ **Tetraborato de sódio pentahidratado ou anidro**
 - ✓ **Ulexita oxissulfato**
 - ✓ **Fritas FTE – boro silicatado**

- ✓ **Fontes de micro metálicos**
 - ✓ **Oxissulfatos**



Fertilizantes com Boro via solo

Bórax: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
(Tetraborato)

10% B



$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

15% B

Bórax Pentahidratado

$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$

21% B

Bórax anidro

Ulexita: $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

10% B

Colemanita: $\text{CaB}_4\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

10% B

Hidroboracita: $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 0.3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

10% B

Fritas (FTE) : Boro silicatado

Fontes de BORO - Solubilidade

Produto/fertilizante	Fórmula química	Solubilidade em água/ Coeficiente de solubilidade (g l ⁻¹ à 20° C)
Boratos		
Hidroboracita	$\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,8 g l ⁻¹
Colemanita	$2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	4,7 g l ⁻¹
Ulexita	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	10,9 g l ⁻¹
Bórax Anidro	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	19,0 g l ⁻¹
Bórax Pentahidratado	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	26,5 g l ⁻¹
Ácido Bórico	H_3BO_3	47,2 g l ⁻¹
Octaborato de Sódio	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	97,0 g l ⁻¹
NPK		
Cloreto de Potássio	KCl	344 g l ⁻¹
Fosfato Monoamônio (MAP)	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	370 g l ⁻¹
Uréia	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$	1080 g l ⁻¹

Via solo →

Via fluida →



Teores críticos de micronutrientes metálicos no solo

Nutriente	Mehlich ⁻¹		DTPA (Raij, et al. 1997)
	mg dm ⁻³		
Zn	2,5	(Fundação MT, 2006)	1,2
	1,3	(Embrapa, 2013)	
	1,6	(Souza e Lobato, 2004)	
Cu	0,8	(Souza e Lobato, 2004)	0,8
		(Embrapa, 2013)	
		(Fundação MT, 2006)	
Mn	5,0	(Souza e Lobato, 2004)	5,0
	10,0	(Embrapa, 2013)	

Zancanaro, et al. (2019/2020)

Nutriente	kg ha ⁻¹
Zn	2,0 a 4,0
Cu	1,5 a 2,0

VITTI, G.C. (s/d)

Obs: Doses menores para solos de textura arenosa e doses maiores para solos de textura argilosa

Métodos de Aplicação

Via foliar

Corretiva, Rápida e Curta duração



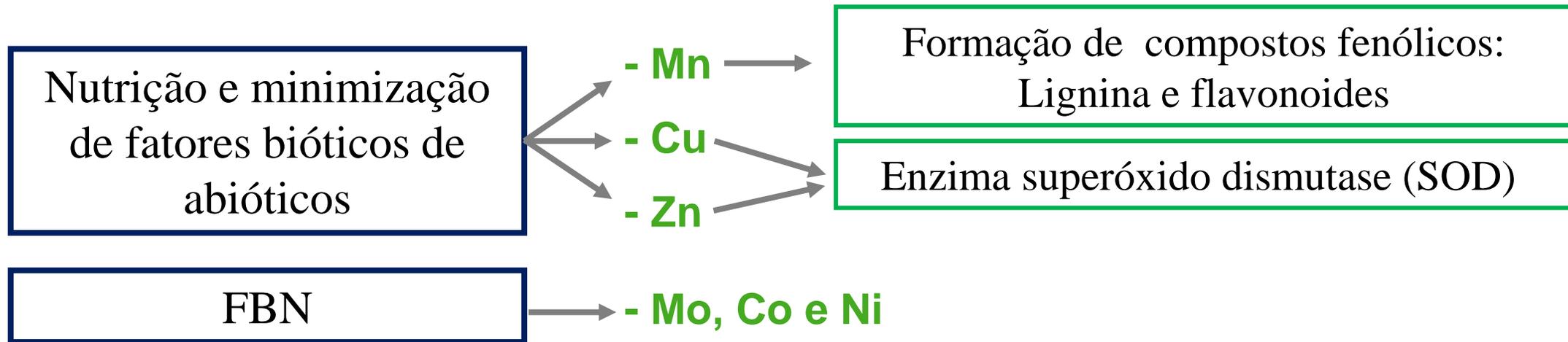
Objetivo da aplicação foliar

- ✓ Correção imediata das deficiências, servindo como complemento da adubação via solo.
- ✓ **Micronutrientes:**
 - ✓ Pequenas quantidades no solo: **g ha⁻¹**
 - ✓ Reduzida eficiência da aplicação via solo dos micronutrientes metálicos

- ✓ **Condições do solo que limitam a disponibilidade de nutrientes a eles aplicados;**
- ✓ **Condições em que podem ocorrer altas perdas de nutrientes aplicados ao solo;**
- ✓ **Quando na fase de crescimento a demanda interna da planta e as condições do ambiente interagem para limitar o suprimento de nutrientes à órgãos essenciais da planta (FERNANDEZ, et al. 2015).**

Micronutrientes via foliar

Micronutrientes mais efetivos para aplicação foliar:



Fatores que afetam a disponibilidade desses nutrientes:

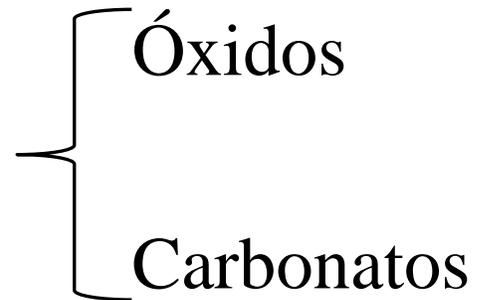
- Calagem (**Micro metálicos**)
- Altos teores de matéria orgânica (**Cu**)
- Altas doses de Fósforo (**Zn**)
- Potencial de oxirredução (**Fe, Mn e Cu**)
- Interação com glifosato (**Mn**)

Fontes de micronutrientes via foliar

- ✓ Sais
- ✓ Quelados
- ✓ Fosfitos

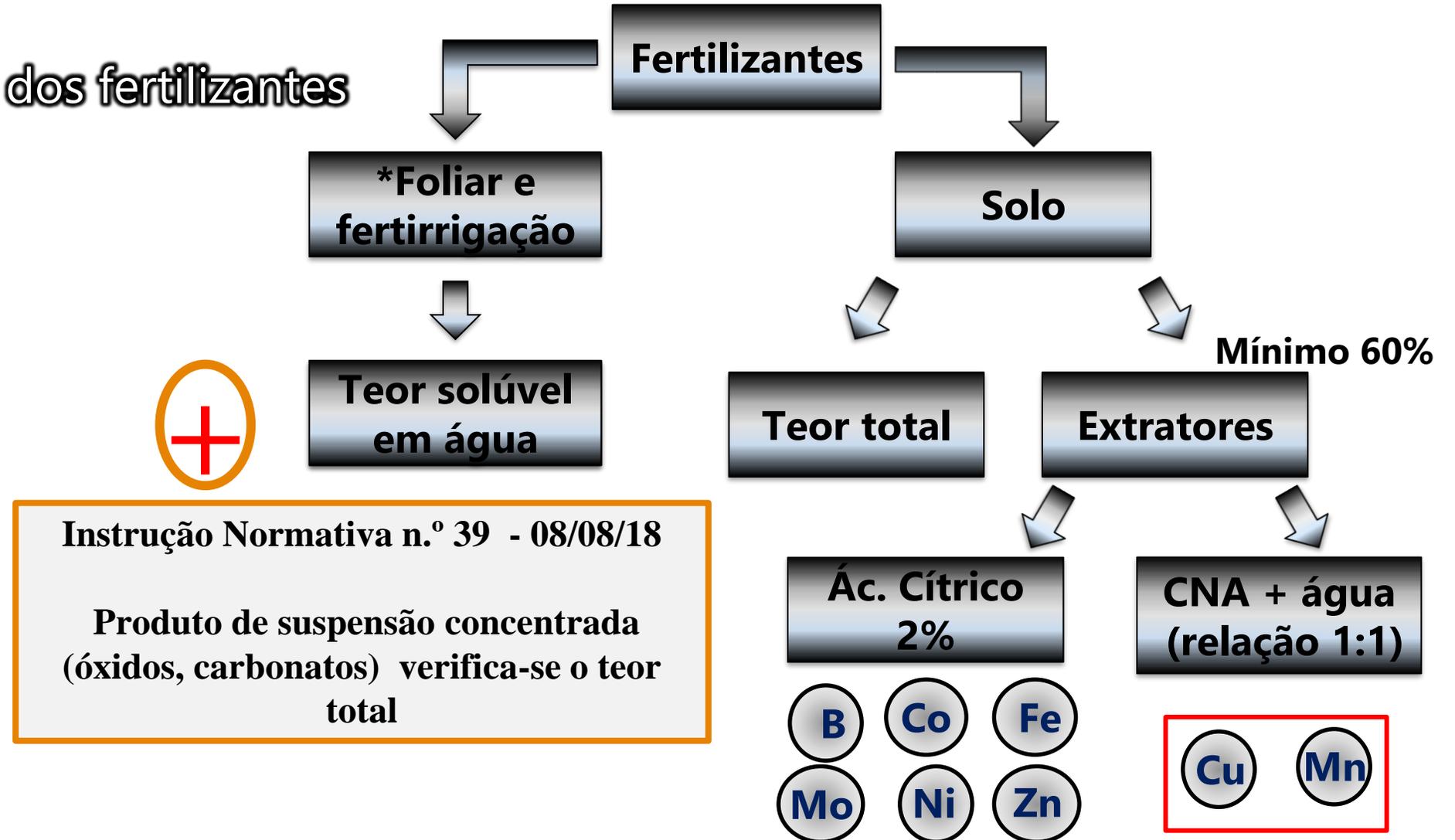


- ✓ Suspensão Concentrada



ANEXO II

→ Especificações dos fertilizantes





**Garantia (peso/peso)
(legislação)**



**Densidade
(g ml⁻¹ ou g cm⁻³ ou kg l⁻¹)**



1- Dose nutriente g ou kg ha⁻¹

2- Transformação da garantia do nutriente do produto:

→ p/p para volume g ml⁻¹ ou kg l⁻¹.

3- Dose do produto em volume por hectare.

Ex: Fertilizante fluido: 10% de Zn p/p; densidade=1,25



80 g 100ml⁻¹ ou 80 kg 100l⁻¹ Zn

Reação de equilíbrio	pH	Log K ⁰
Sulfato		
$\text{ZnSO}_4 \Leftrightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{SO}_4^{-2}$		3,41
Cloreto (complexos)		
$\text{Zn}^{2+} + \text{Cl}^- \Leftrightarrow \text{ZnCl}^+$	8,1 – 8,9	0,43
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{Cl}^- \Leftrightarrow \text{ZnCl}_2^0$	7,6 – 8,5	0,00
$\text{Zn}^{2+} + 3\text{Cl}^- \Leftrightarrow \text{ZnCl}_3^-$	5,9 – 6,9	0,50
$\text{Zn}^{2+} + 4\text{Cl}^- \Leftrightarrow \text{ZnCl}_4^{2-}$	4,0 – 5,0	0,20

Fonte: Lindsay, 1979.

SAIS:

- **Adição de Uréia** (0,5 a 1,0%)
- **Adição de KCl** (0,25 a 0,5%)
- **Manuseio** (misturar e aplicar)

Quando usar micronutrientes na forma de sais adicionar:

Idade da lavoura	Fertilizante	
	Ureia	KCl
	%	
Formação	0,3	0,1
Produção	0,5 a 1,0	0,25 a 0,50

Velocidade de absorção foliar dos nutrientes

NUTRIENTE	TEMPO DE ABSORÇÃO V/2	NUTRIENTE	TEMPO DE ABSORÇÃO
Uréia	½ a 2 horas	Cl	1 a 4 dias
K	10 a 24 horas	P	5 a 10 dias
Mg	10 a 94 horas	S	5 a 10 dias
Ca	1 a 2 dias	Fe	10 a 20 dias
Mn	1 a 2 dias	Mo	10 a 20 dias
Zn	1 a 2 dias		

N > K > Mg > Demais

Fontes de Zinco	Zn – folhas (ppm)	Índice
Testemunha	13	46
Sulfato de zinco	28	100
Cloreto de zinco	56	200
Nitrato de zinco	43	154
Sulfato de Zn + KCl	39	139

Fonte: Adaptado de GARCIA & Salgado, 1981

Fontes de Zn marcado com radiozinco*

Parte da planta	Cloreto	Nitrato	Sulfato	Quelato
	----- microgramas Zn/planta -----			
Raízes	2	2	6	22
Caule e ramos abaixo	6	5	6	9
Folhas abaixo	3	7	5	30
Folhas tratadas	653	393	97	231
Caule e ramos acima	9	5	7	12
Folhas acima	12	9	8	31
Total	685	421	129	335

* Malavolta, E. et al. - XXI Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras - 1995 - Caxambú - MG

Reação de equilíbrio	pH	Log K ⁰
Sulfato		
$\text{ZnSO}_4 \Leftrightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{SO}_4^{-2}$		3,41
Cloreto (complexos)		
$\text{Zn}^{2+} + \text{Cl}^- \Leftrightarrow \text{ZnCl}^+$	8,1 – 8,9	0,43
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{Cl}^- \Leftrightarrow \text{ZnCl}_2^0$	7,6 – 8,5	0,00
$\text{Zn}^{2+} + 3\text{Cl}^- \Leftrightarrow \text{ZnCl}_3^-$	5,9 – 6,9	0,50
$\text{Zn}^{2+} + 4\text{Cl}^- \Leftrightarrow \text{ZnCl}_4^{2-}$	4,0 – 5,0	0,20

Inibição competitiva

A presença de um íon **A** diminui a absorção do íon **B**

Inibição Competitiva → **A** e **B** competem pelo mesmo carregador

B	A
Mn ⁺⁺	Fe ⁺⁺
Fe ⁺⁺	Cu ⁺⁺
Zn ⁺⁺	Cu ⁺⁺
Zn ⁺⁺	Mn ⁺⁺

Manejo para Zn

- a) Aumentar a concentração do nutriente B
- b) Usar Zn quelatizado ou fosfito
- c) Adicionar KCl

Inibição Não Competitiva

A e **B** competem por carregadores (R) diferentes

B	A
Zn ⁺⁺	H ₃ BO ₃
Zn ⁺⁺	H ₂ PO ₄ ⁻
MoO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻

Manejo para Zn:

- a) Aplicar produtos separados (**inviável**)
- b) Usar Zn quelatizado ou fosfito
- c) Adicionar KCl (no caso do Zn)

Sinergismo

A presença de um íon (**A**) favorece a absorção de outro (**B**)

B	A
H_2PO_4^-	Mg^{++}
MoO_4^{2-}	H_2PO_4^-

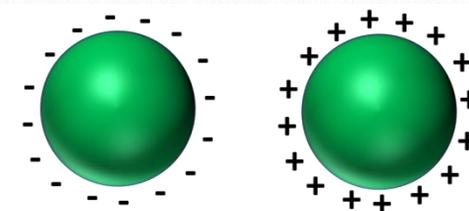
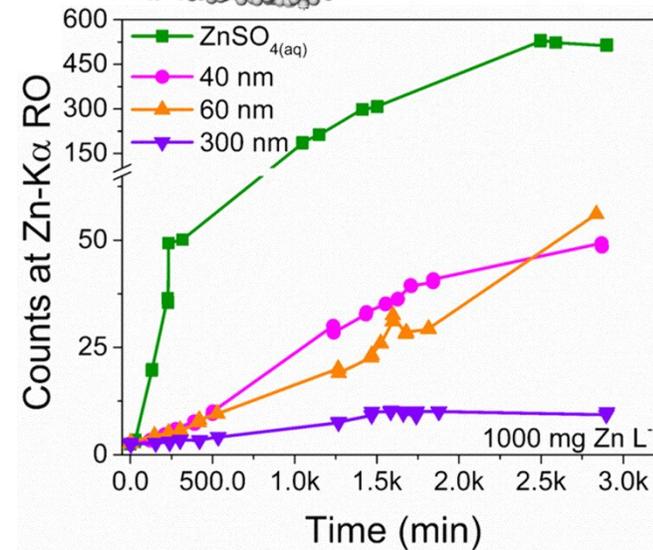
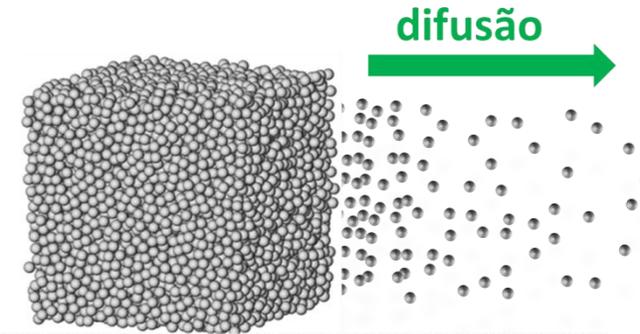
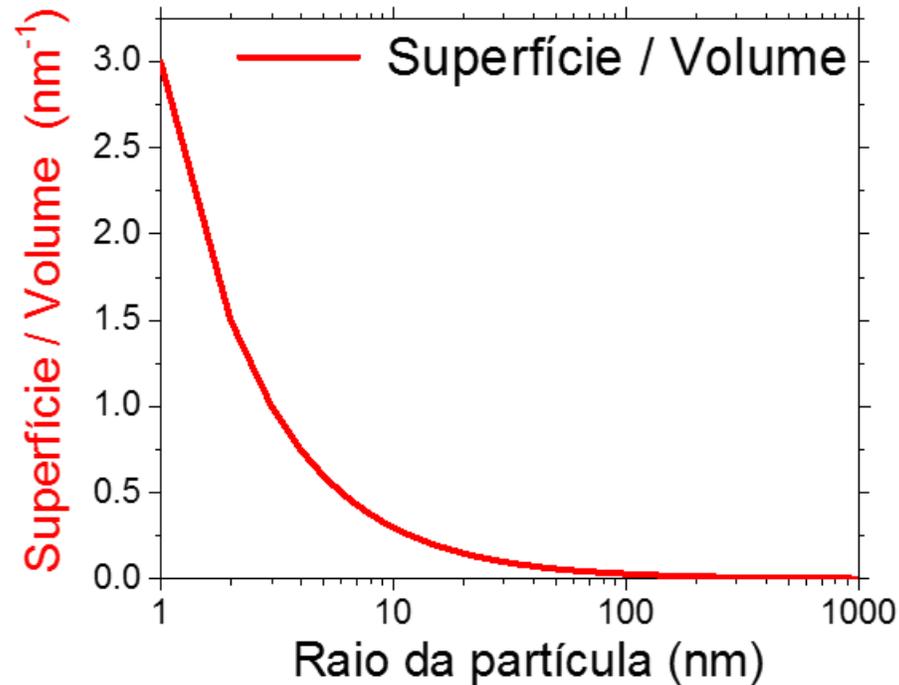
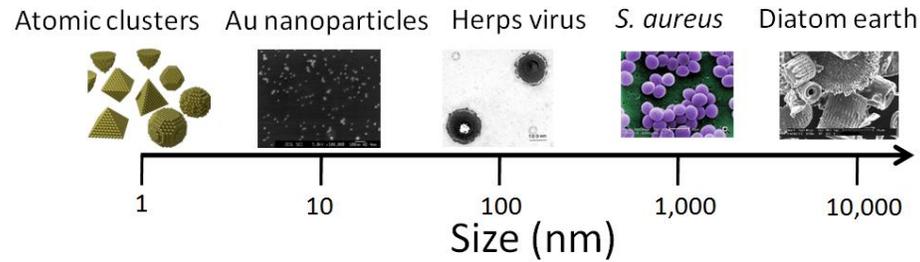
Antagonismo

A presença de um íon (**Ca**) não deixa manifestar a toxidez de outro (**Cu**).

Exemplos:

Calda Bordalesa. Ca x Cu

Nanomateriais

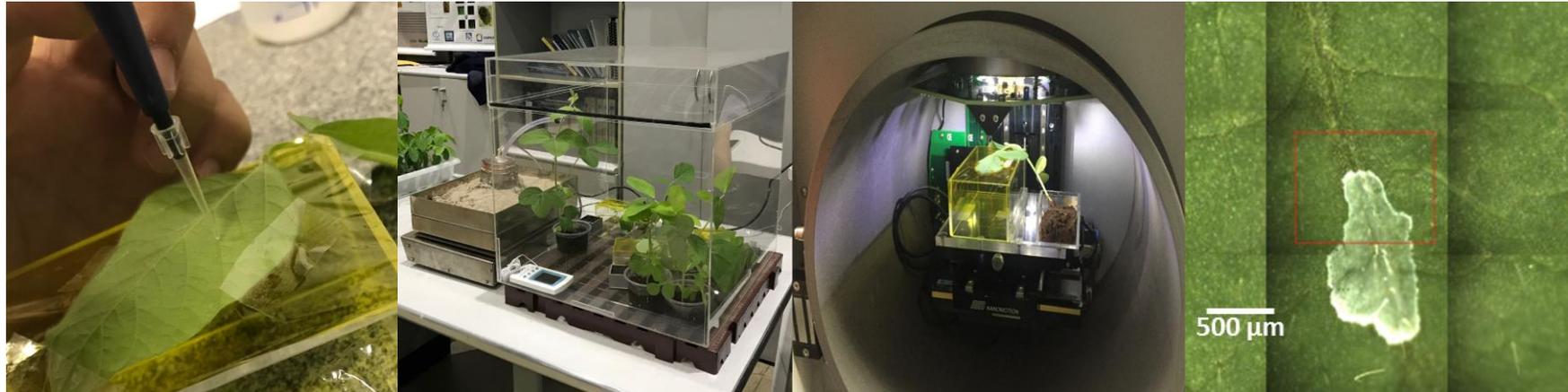


Zn sulfato x Zn óxido

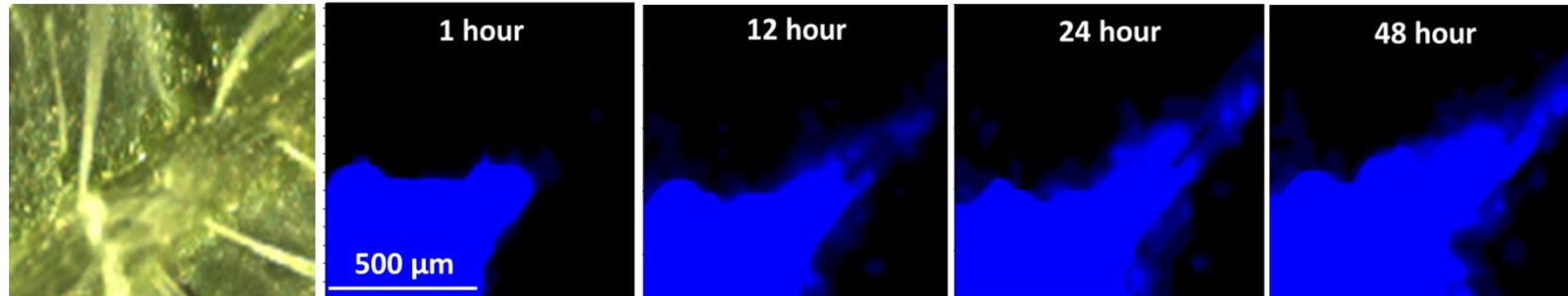
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ X ZnO (480 nm)

**Concentração: 2.300 mg l⁻¹ de Zn
ou 350 g ha⁻¹ de Zn em uma calda de 150 litros**

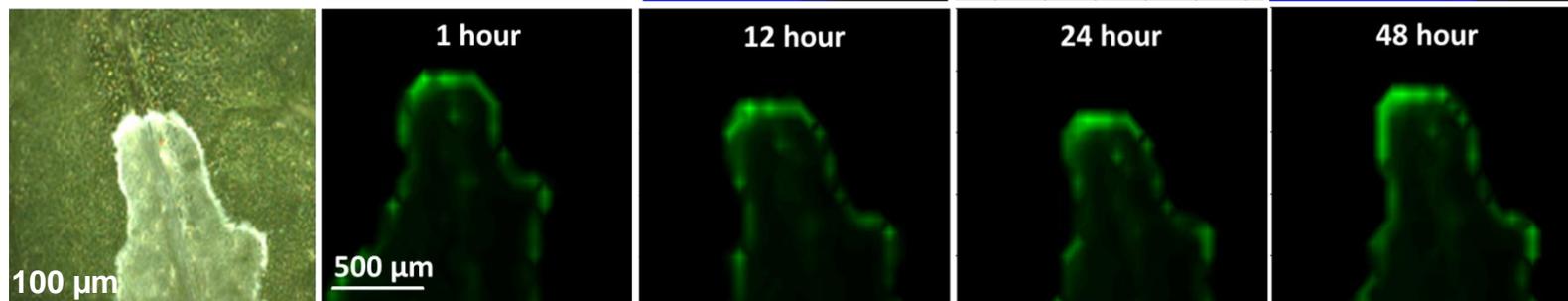
Zn sulfato x Zn óxido



$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

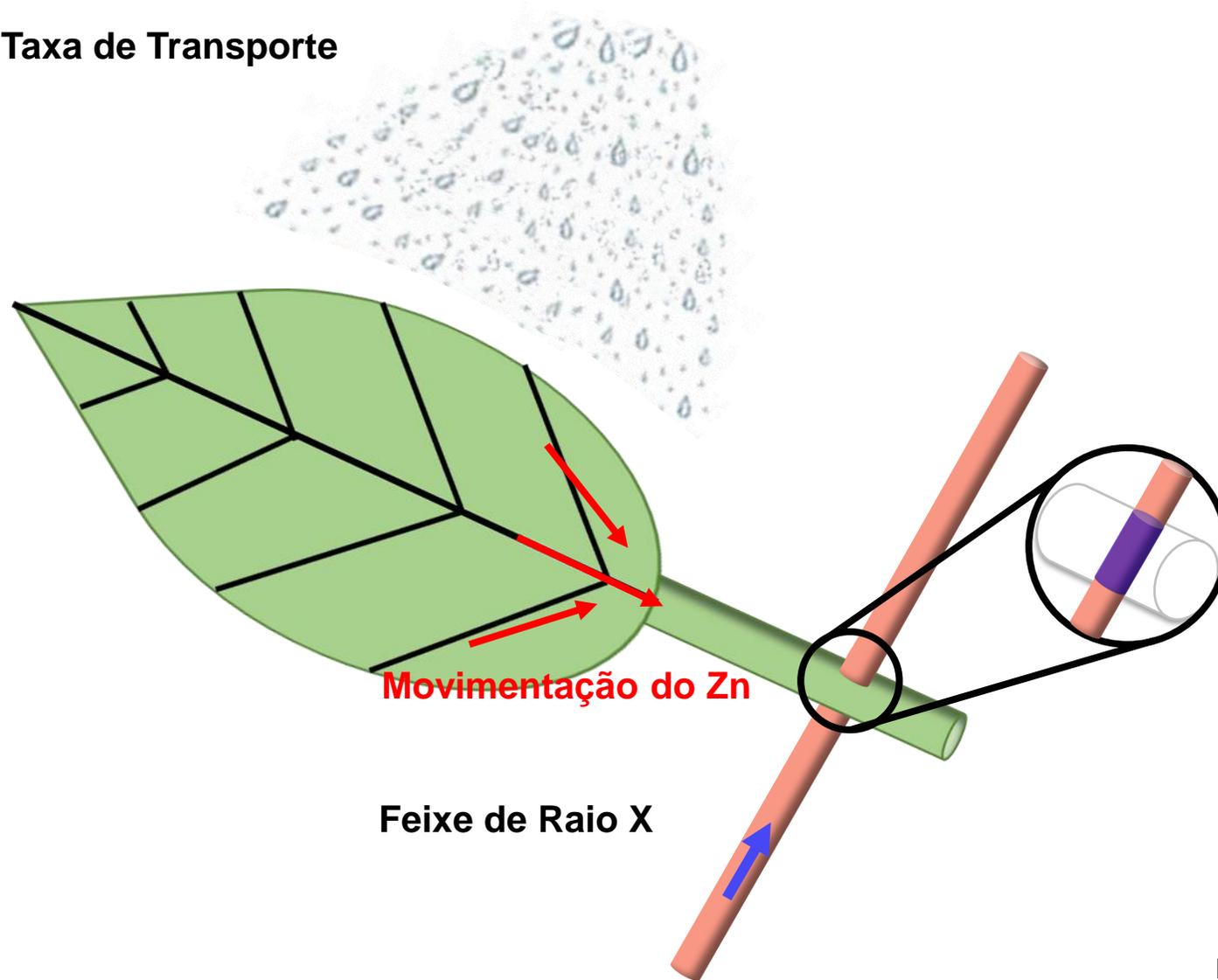


ZnO

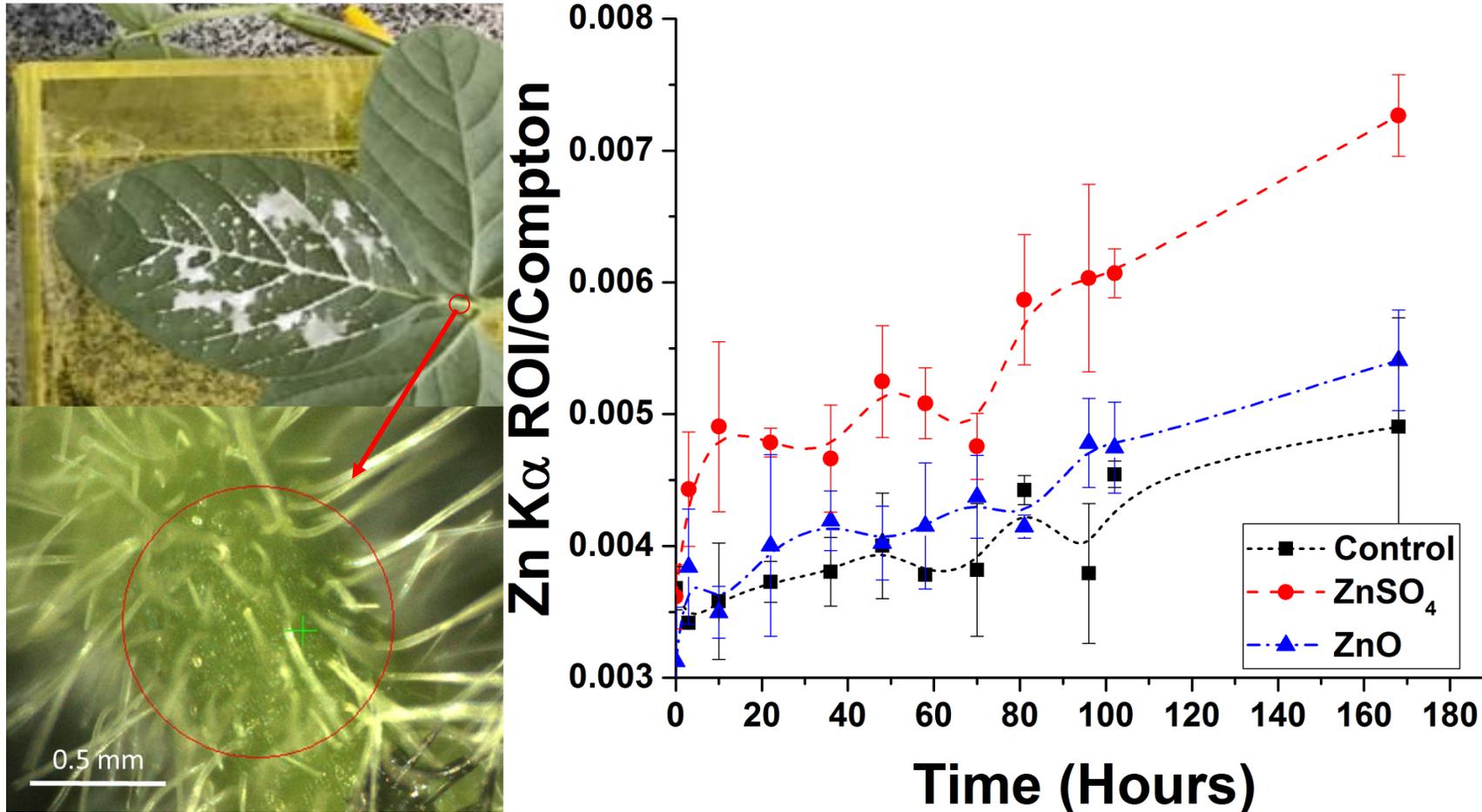


Movimentação do Zn

Taxa de Transporte



Taxa de Transporte



CONTROLE – Deficiência de Mn



Aplicação foliar de $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$



Migliavacca & Cakmak, 2018

Aplicação foliar de MnCO_3



Migliavacca & Cakmak, 2018

Controle x $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ x MnCO_3

Mn deficiency
 10^{-7} M

MnSO_4

MnCO_3



Garantias e análise química das fontes de enxofre.

Garantia (%)	B	A	S elementar
S	55	90	95
Análise ^(*)			
Zn	--	1,04	--
S (Total)	54,29	86,90	91,64

(*) Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP.

Enxofre foliar: soja (aplicação)



Aplicação dos tratamentos



Detalhe da cobertura de solo



Folha após aplicação foliar

Resultados dos testes Tukey ao nível de 5% de probabilidade para as variáveis. Teor de nitrogênio e enxofre na folha e produção.

Tratamentos	Teor de N na folha mg vaso ⁻¹ (*)	Teor de S na folha	Produção g vaso ⁻¹ (**)
1	283,06b	7,98c	13,95d
2	715,06a	27,09ab	23,37c
3	719,89a	30,83a	26,95ab
4	583,56ab	26,51ab	23,92bc
5	682,77a	31,41a	27,38a
6	606,89a	19,86b	26,58ab
7	590,32ab	29,82ab	28,62a
CV%	22,52	10,17	5,62
DMS	309,27	17,85	3,15

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

(*) Média de 4 repetições.

(**) Vaso contendo 4 vasos.

Formados por combinação de agente quelatizante (ligações coordenadas)

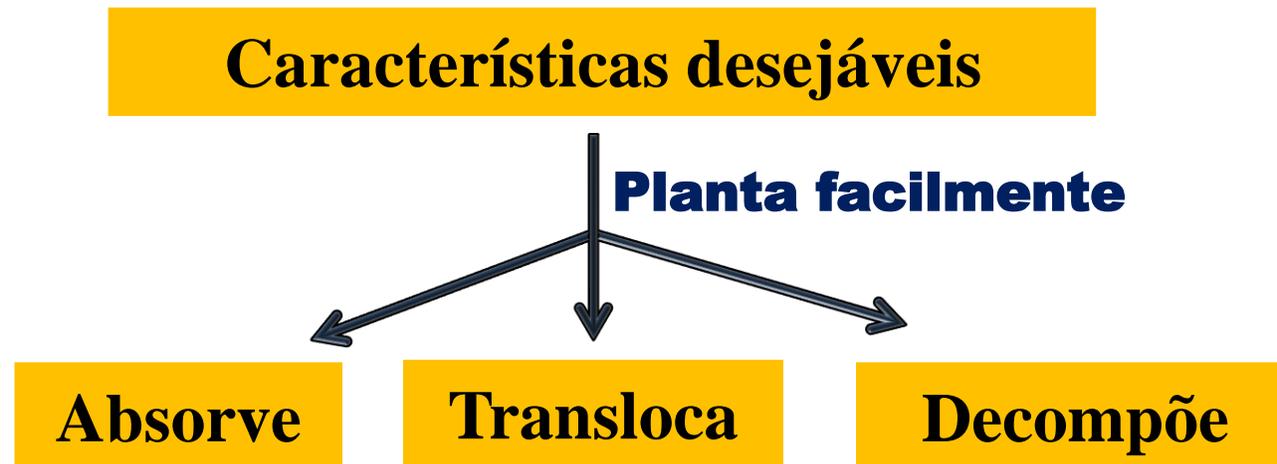
A estabilidade da ligação quelato-metal geralmente determina a disponibilidade dos nutrientes aplicados às plantas

Dissociam-se pouco em solução (principal vantagem dos quelatos)

ÍON METALÍCO →

Dois ou mais grupos doadores de elétrons = molécula em anel simples → perda de habilidade de atuar como íon.

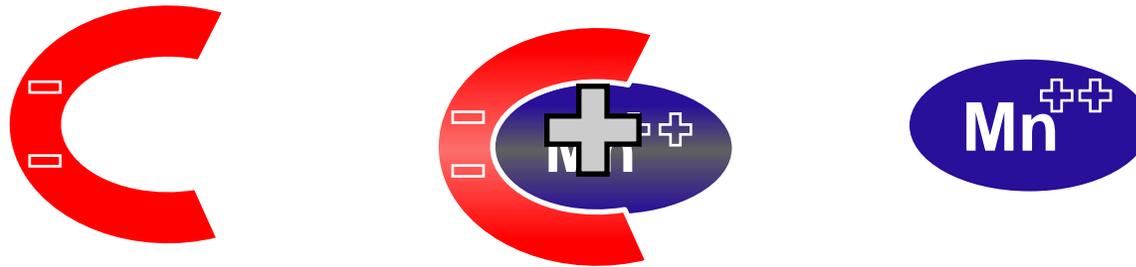
Portanto: menos susceptível as reações que os precipitem fica mais disponível as plantas.



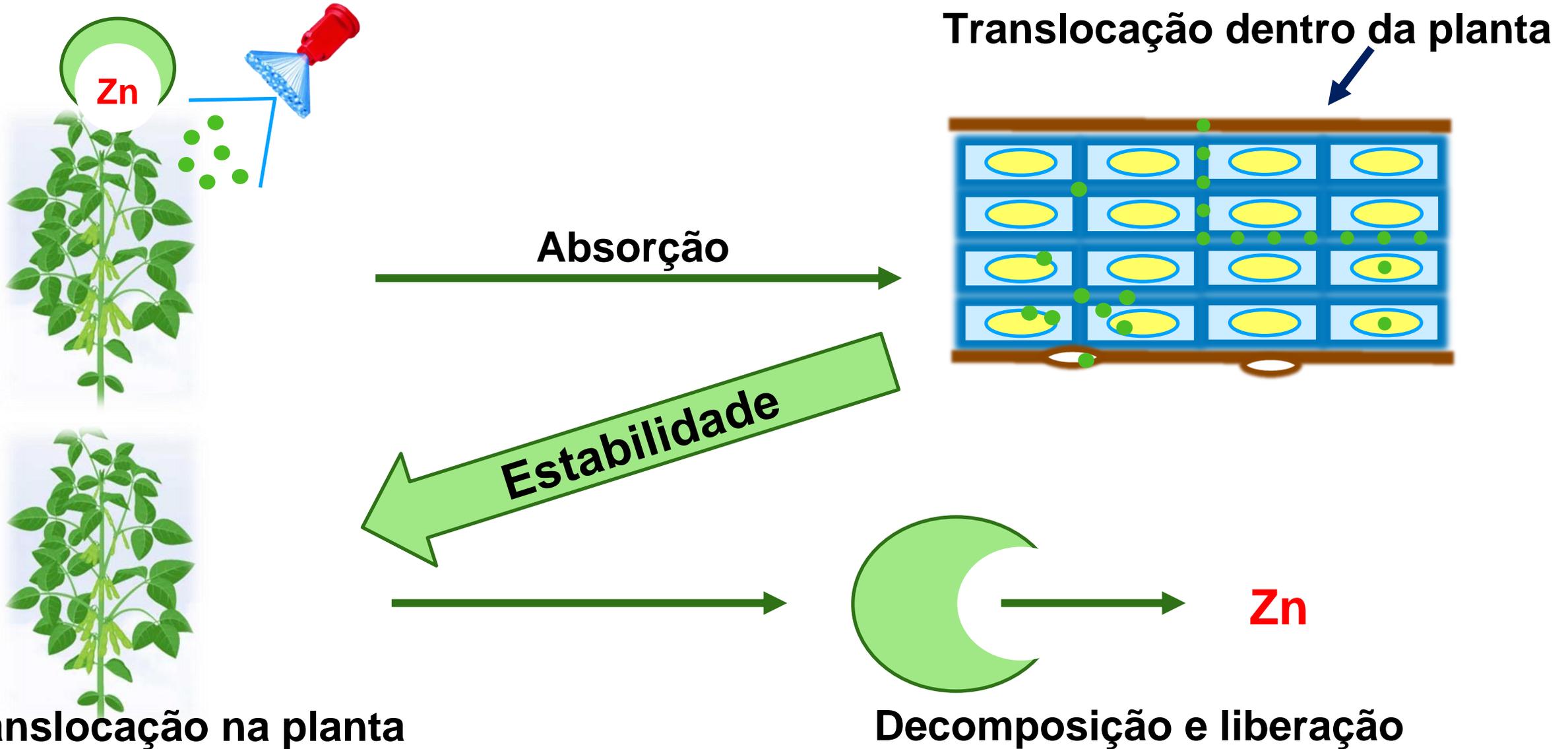
Formas transportadas de elementos no xilema

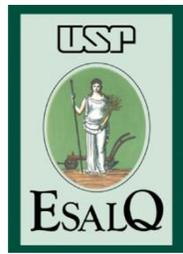
Elemento	Forma transportadas
N	NH_4^+ , NO_3^- , amidas, açúcares
P	H_2PO_4^- , nucleotídeos, estéres de carboidratos
Ka, Ca, Mg	K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}
S	SO_4^{2-} , cisteína, cistina
B	H_3BO_3 , borates, aril boratos
Cu	Cu^{2+} , complexos, quelatos
Fe	Fe^{2+} , Fe^{3+} , Fe-citrato
Mn	Mn^{2+} , Mn-quelatos
Mo	HMoO_4^- , Mo-aminoácidos
Zn	Zn^{2+} , Zn-quelados

Fertilizantes Quelatizados



A quelatização evita reações que
indisponibilizam os nutrientes





Grupos dos Ácidos Aminopolicarboxílicos

NOME	ABREVIATURA
Ácido Nitrilotriacético ($C_6H_9NO_6$)	NTA
Ácido Etilenodiaminotetraacético ($C_{10}H_{16}O_8N_2$)	EDTA
Ácido Hidroxietilenodiamino-triacético ($C_{10}H_{18}O_7N_2$)	HEDTA ou HEEDTA
Ácido Propilenodiaminotetraacético	PDTA
Ácido dietileno-triaminopentacético ($C_{14}H_{23}O_{10}N_3$)	DTPA
Ácido etilenodiamino- N,N' -di[(orto-hidroxifenil)acético] ($C_{18}H_{20}N_6O_2$)	[o,o] EDDHA
Ácido etilenodiamino- N[(orto-hidroxifenilacético)-N' [(para hidroxifenil)acético] ($C_{18}H_{20}O_6N_2$)	[o,p] EDDHA
Ácido etilenodiamino-N,N'-di[(orto-hidroximetilfenil)acético] ($C_{20}H_{24}O_6N_2$)	[o,o] EDDHMA
Ácido etilenodiamino-N[(orto-hidroximetilfenil)acético]-N' [(para hidroximetilfenil)acético] ($C_{20}H_{24}O_6N_2$)	[o,p] EDDHMA
Ácido etilenodiamino-N,N'-di[(5-carboxi2- -hidroxifenil)acético] ($C_{20}H_{20}O_{10}N_2$)	EDDCHA
Ácido etilenodiamino- -N,N'-di[(2-hidroxi5-sulfofenil)acético] e respectivos produtos de condensação. ($C_{18}H_{20}O_{12}N_2S_2 + n^*(C_{12}H_{14}O_8N_2S)$)	EDDHSA
Ácido D,L aspártico, N-(1,2 dicarboxietil) tetra sódico (Ácido iminodissuccínico) ($C_8H_{11}O_8N$)	IDHA
Ácido N,N'-di(2-hidroxibenzil)etilenodiamina-N,N'-di(acético) ($C_{20}H_{24}N_2O_6$)	HBED
Aminoácidos naturais (albuminas, glicina, etc)	

Fontes com a máxima concentração de micronutrientes metálicos quelatizados

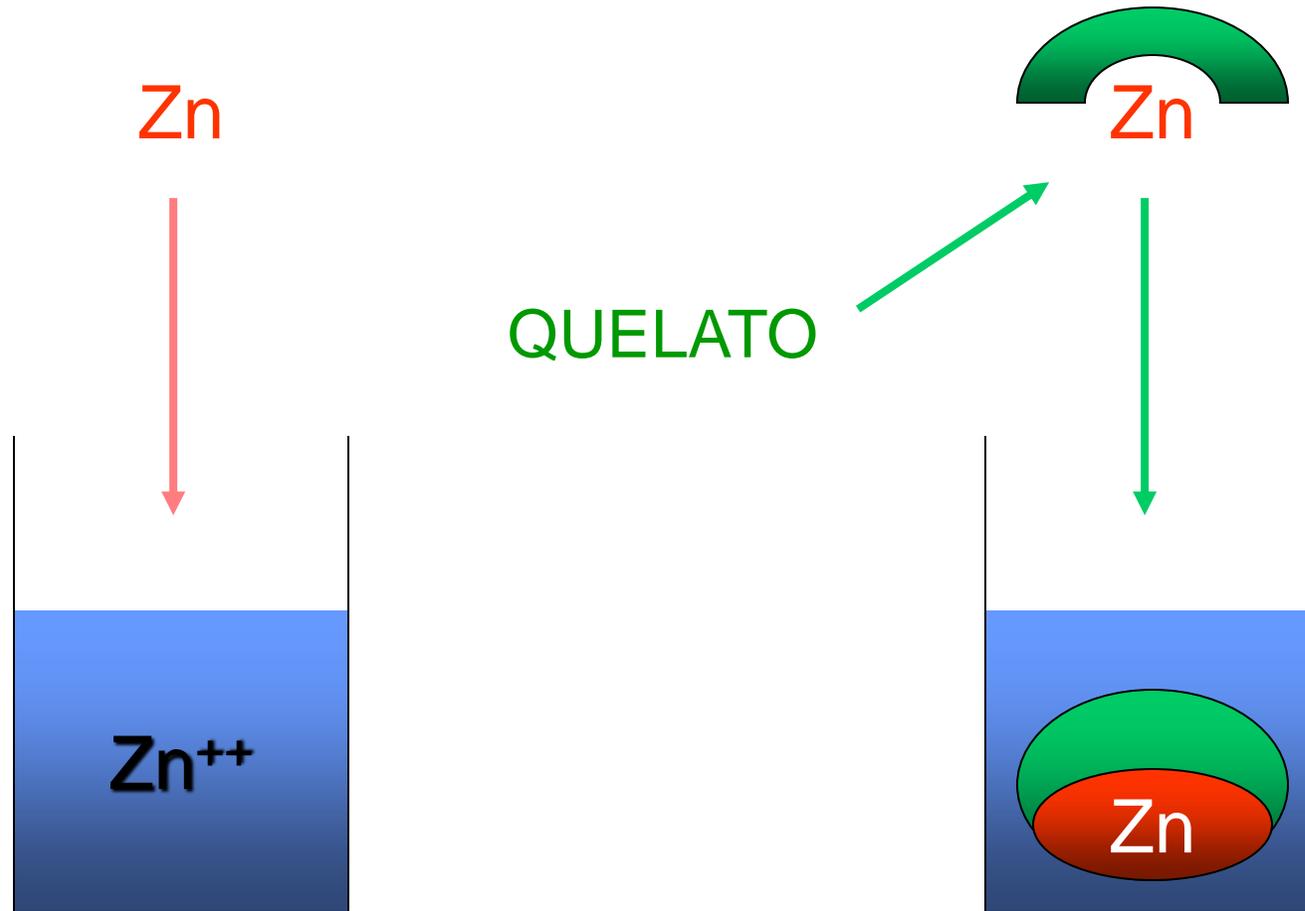
Cobre	Na₂Cu EDTA	→	13% Cu
	NaCu HEDTA	→	9% Cu
Ferro	NaFe EDTA	→	5 - 14% Fe
	NaFe DTPA	→	10% Fe
Manganês	Mn EDTA	→	13% Mn
Zinco	Na₂Zn EDTA	→	14% Zn
	NaZn HEDTA	→	9% Zn

Absorção e transporte do zinco aplicado via foliar.

Parte de planta	Fonte de Zinco			
	Cloreto	Nitrato	Sulfato	Quelato
	----- µg/planta de Zn -----			
Raízes	2	2	4	19
Caule e ramos abaixo	4	5	4	10
Folhas abaixo	5	5	4	31
Folhas tratadas	609	357	80	216
Caule e ramos acima	5	6	5	10
Folhas acima	8	7	6	17
Total	633	382	103	303

Fonte: Malavolta et al. (1995)

Sais vs Quelatos



Teor de ferro nas folhas das laranjeiras tratadas com quelados de ferro e sulfato ferroso

Dose de ferro (g/planta)	Forma	Fe nas folhas (ppm)
0	-----	40
10	Quelado	100
20	Quelado	85
30	Quelado	86
40	Quelado	85
50	Quelado	90
2500	Sulfato ferroso	50

Fonte: Leonard, citado por MALAVOLTA, 1980.

Produtos	Sais	Dose
	%	kg / 2000 l
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,3 a 0,5*	6 a 10* → 1500 a 2200g Zn
MnSO ₄ .4H ₂ O	0,2	4 → 1300g Mn
H ₃ BO ₃	0,075	1,5
Ureia	0,5	10
KCl	0,25	5
MAP	0,25	5

* Pêra-Rio

DOSE SAIS:
5 a 8 X > DOSE QUELATO

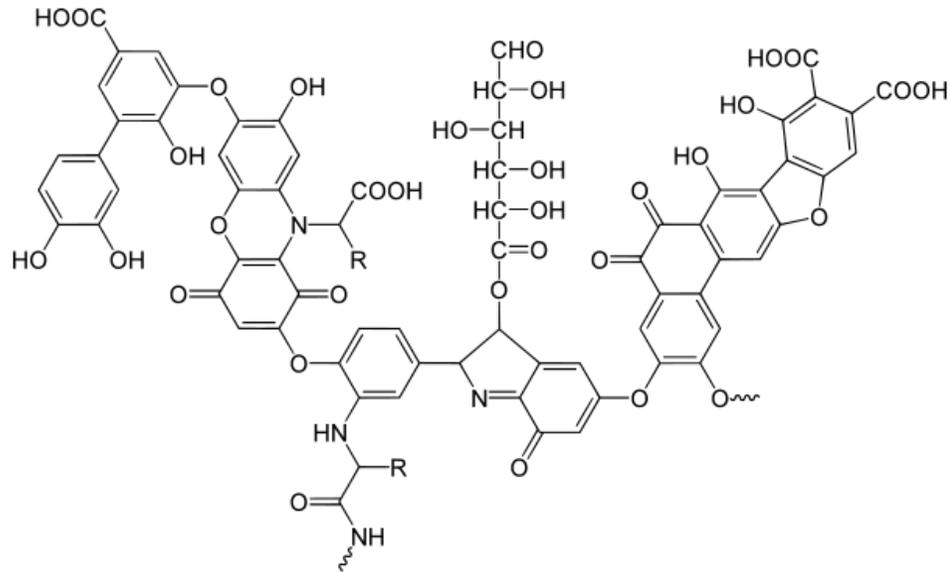
SAIS:
Adição de Uréia (0,5%)
Adição de KCl (0,25%)
Manuseio (Preparar e aplicar)

Cu: 100 a 125 mg l⁻¹ Cu = 1,5 a 3,0 kg ha⁻¹ Cu
Para cada 1 kg CuSO₄.5H₂O, acrescentar 1,5 kg Cu(OH)₂
7 a 10 kg ha⁻¹ MgSO₄.7H₂O/2000l

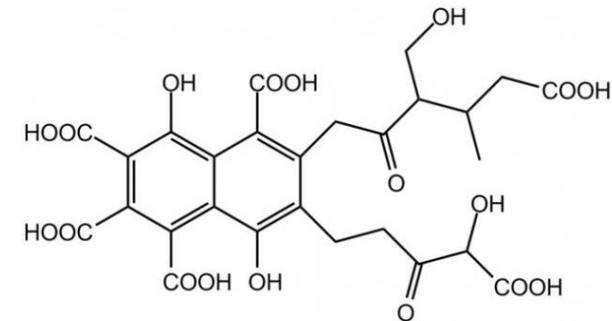
Doses para atingir teores foliares adequados de zinco e manganês

	Zn	Mn
	g 2000l ⁻¹	
Sal	1500 a 2200	1300
Quelativado	350	120
Relaçaõ	4,3 a 6,3	10,0

Ácidos Húmicos e Fúlvicos



ÁCIDO HÚMICO*



ÁCIDO FÚLVICO*

Ácidos Húmicos e Fúlvicos

Fontes Naturais	(%) de ácidos Húmicos e Fúlvicos
Leonardita	85-91
Turfa	10 - 20
Carvão Marron	10 - 30
Esterco Bovino	5 - 15
Composto Orgânico	2 - 5
Solo	1 - 5
Lodo de Esgoto	1 - 5
Carvão Preto	0 - 1



PERFILHAMENTO - VIGOR



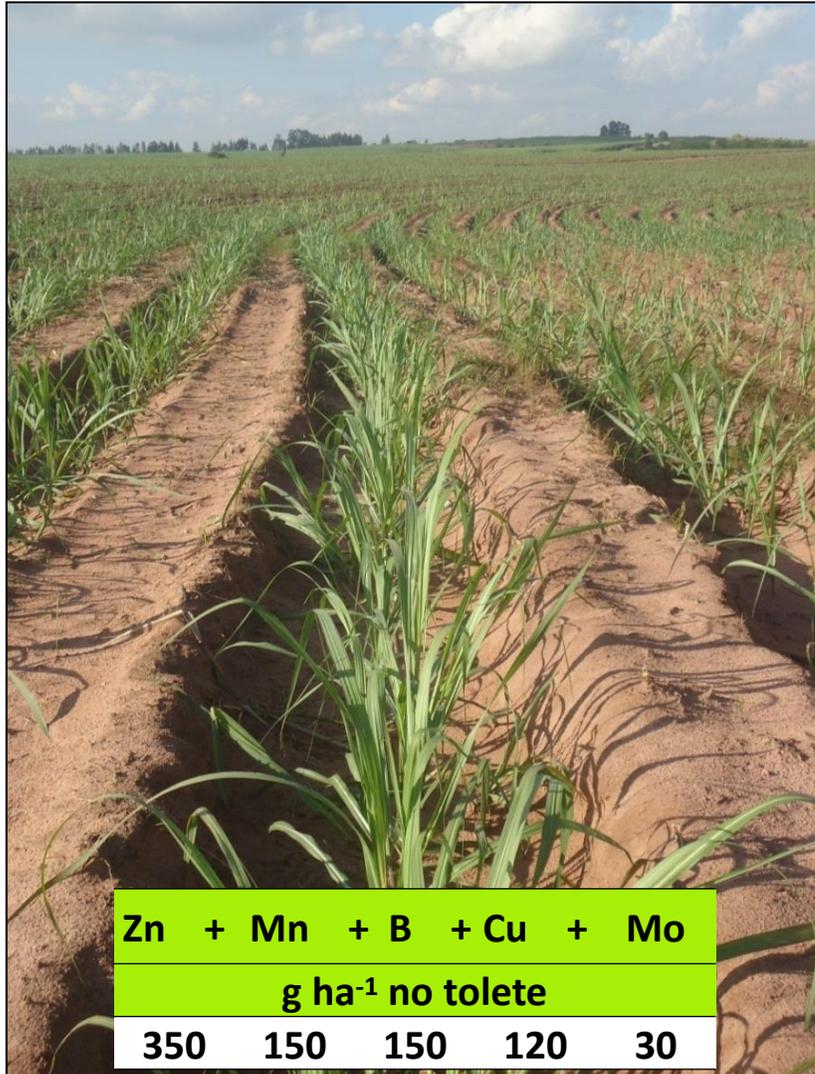
**Turfa
Rio Mogi Guaçu**

Boro + Zinco + Ácido Húmico

Controle

Avaliação 60 DAP

Raízen Piracicaba



**Turfa
Rio Mogi Guaçu**



Cana – Baldo



CONTROLE

Município: Colina, SP,
 Proprietário: Família Baldo
 30/08/2013



MICRONUTRIENTES VIA TOLETE

Zn	Mn	B	Cu	Mo	Ác. Fúlvico
g ha ⁻¹ no tolete					
360	120	120	120	32	280

← Leonardita

Usina Coprodia - Campo Novo do Parecis/MT

Produto	B	Zn	Mo	+bioestimulantes (*)
Sync (Compass Minerals)				
Garantia	g l⁻¹ (na formulação)			
	15,6	78	3,9	Ac. Húmicos e Fúlvicos, 17 Aminoácidos a acetato de Zn
Fornecimento Dose: 7,0 l ha⁻¹	g ha⁻¹			
	109	546	27	

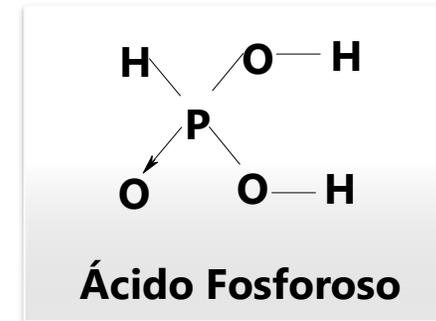
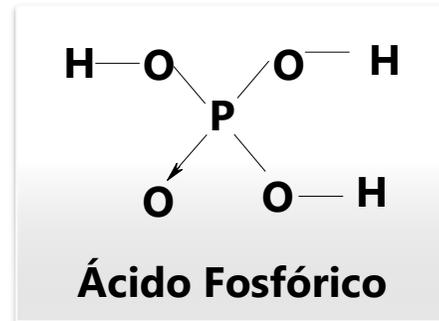
**Área tratada com Sync na cobertura de toletes
(com bioestimulantes)**



**Área tratada com CanaMicros Top
(sem os bioestimulantes)**



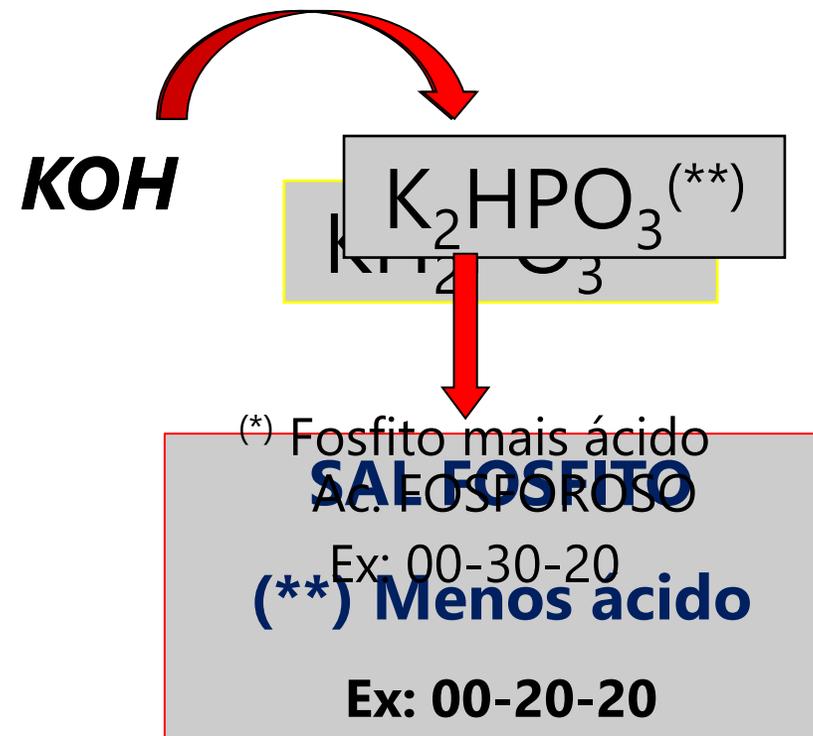
- nome genérico que se dá aos sais do ácido fosforoso H_3PO_3
- Este ácido é conhecido na química por uma característica interessante: um dos átomos de hidrogênio de sua molécula não tem função de ácido.



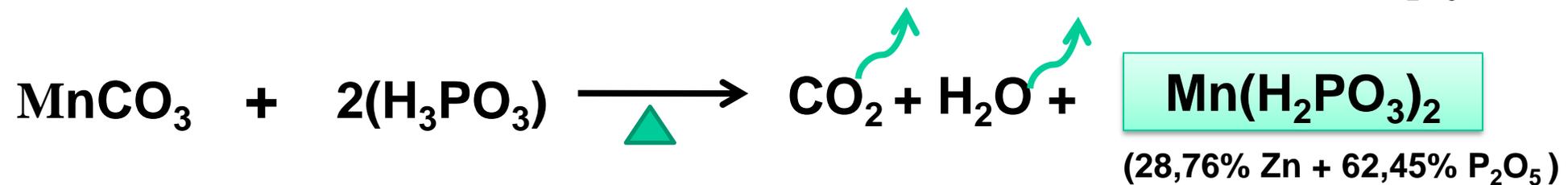
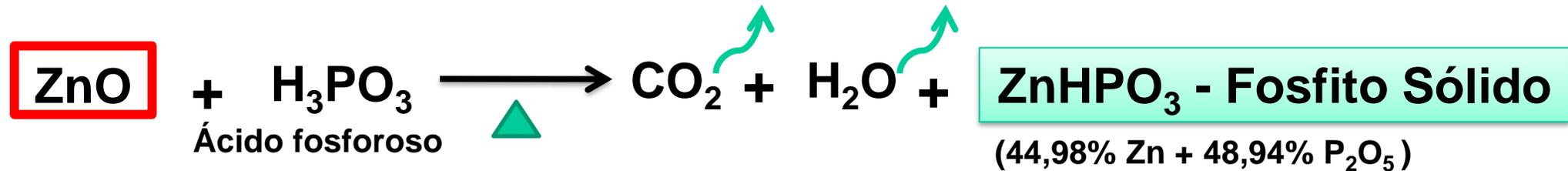
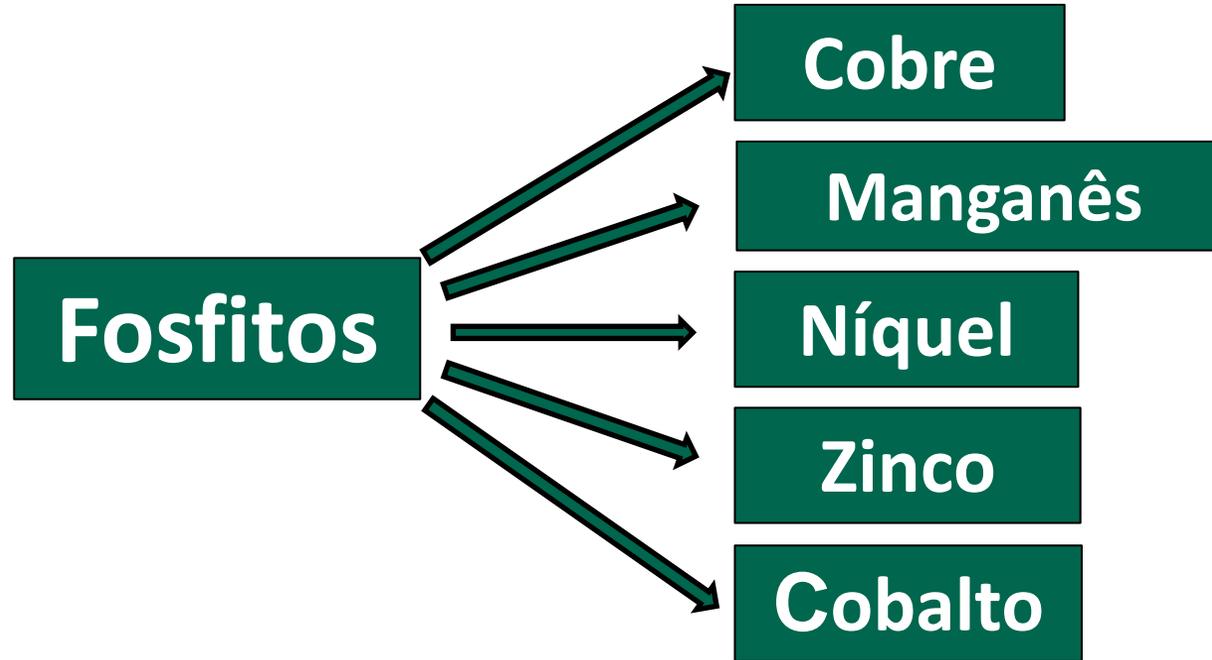
- Também tem papel de agente protetor dos vegetais, como no caso de eventuais efeitos tóxicos de defensivos.
- Na comercialização do fosfito se requer que o produto seja registrado junto ao órgão competente.

Fosfitos

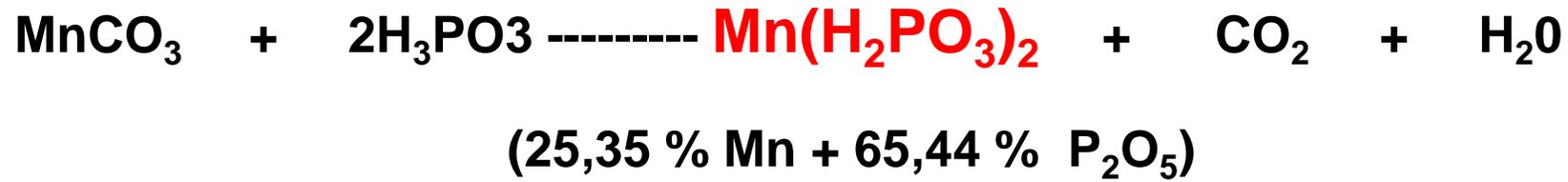
- Compostos originados da neutralização do ácido fosforoso (H_3PO_3) por uma base
- Compostos não são fitotóxicos e possuem elevada atividade fungistática



ÁCIDO FOSFOROSO + BASE (óxidos ou carbonatos com micronutrientes)



Fosfito de Manganês



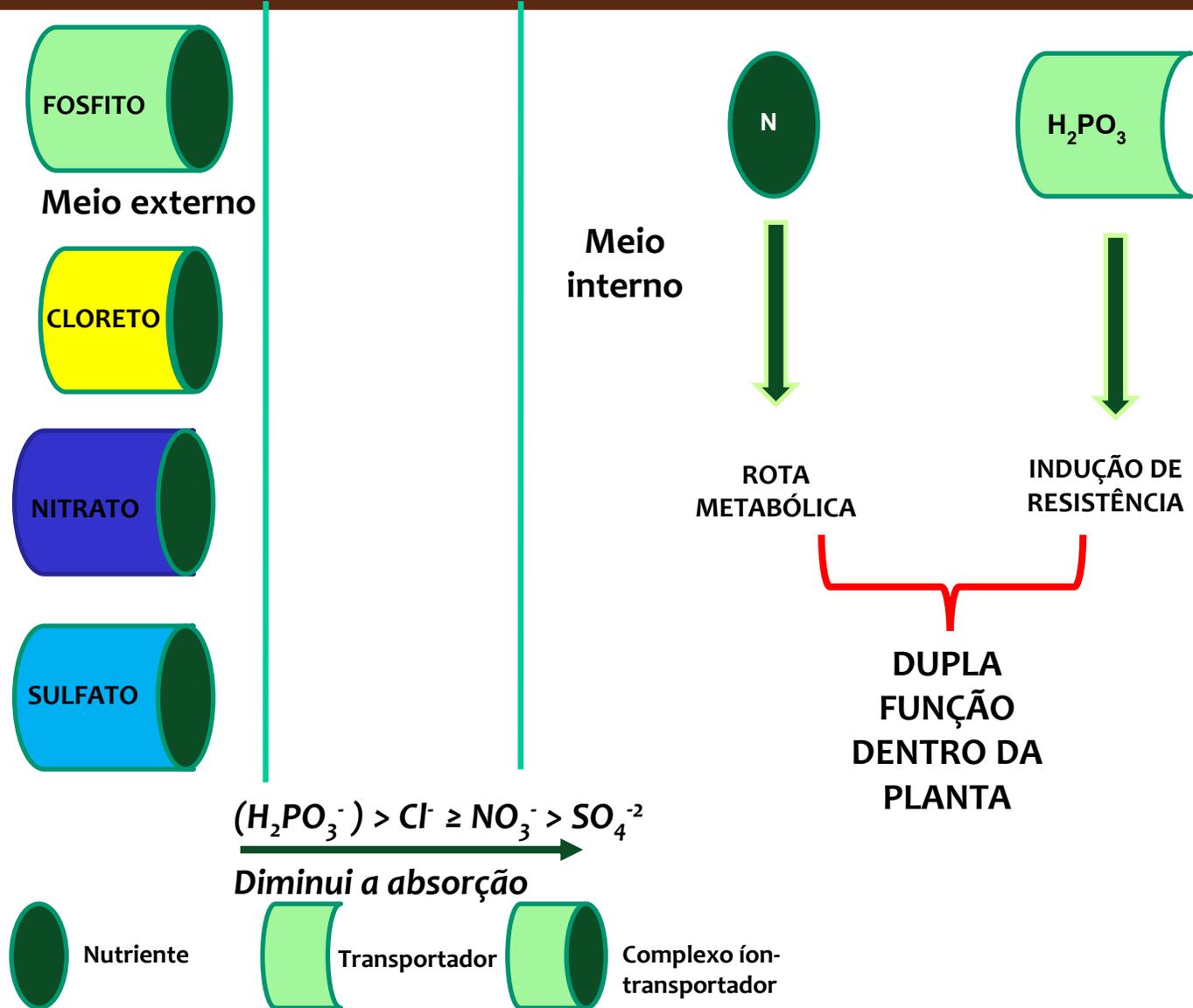
Produto	Garantias	
	Mn	P ₂ O ₅
Fosfito Sólido	21%	60%
Fosfito Líquido	8 a 10%	30 – 40%

Vantagem dos fosfitos

Tabela 9 - Teor de zinco nas folhas de citros em diferentes intervalos de tempo após a pulverização foliar em cada fonte⁽¹⁾

	Tempos após aplicação (horas)			
	24	48	72	Média das fontes
	-----Zn total (mg kg ⁻¹)-----			
Controle	37 Da	61 Ba	63 Ca	48 C
Sulfato	130 Bb	192 Aa	83 Cc	110 B
EDTA	135 Bb	205 Aa	73 Cc	110 B
Fosfito	165 Ab	209 Aa	102 Bc	132 A
AA ⁽³⁾	158 ABb	197 Aa	57 Cc	111 B
Cloreto	76 Cc	218 Aa	165 Ab	123 AB
Média dos tempos	117 b	180 a	93c	105 ⁽²⁾
DMS ⁽⁴⁾	27,01	-	-	-
DMS ⁽⁵⁾	33,13	-	-	-
CV%	12,12	-	-	-

Vantagem dos fosfitos



Vantagem dos fosfitos

- ▶ Rápida absorção (raízes, folhas e córtex do tronco): 90 a 98% em 3-20 horas
- ▶ Assimilado na sua totalidade, diferentemente dos fosfatos.
- ▶ Exige menor energia da planta
- ▶ Excelente complexante, favorece absorção de B, Zn, Mo, K e outros elementos.
- ▶ Controle e prevenção de doenças fúngicas:
 - ▶ **fitoalexinas (ação preventiva)**
 - ▶ **Inibição do desenvolvimento fúngico (ação curativa)**
- ▶ Permitem misturas com outros produtos
- ▶ Certas formulações de Fosfitos podem reduzir o pH da solução melhorando a eficiência de alguns herbicidas.

Quando (soja)?

FENOLOGIA



↑
V4

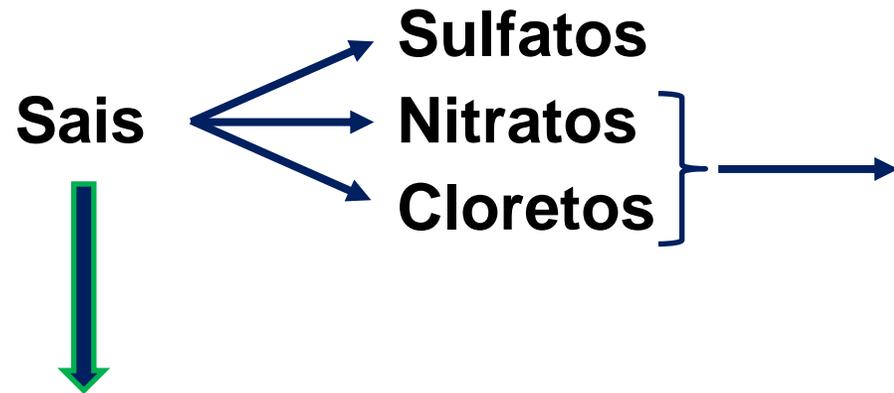
Aplicação simultânea de Mn quelatizado com glifosato

Recomendação de adubação foliar para **soja** com produtos à base de sulfato.

Estádios	Mn	Zn	Cu	Mo	Co	Ni	B	Mg	P ₂ O ₅
	g ha ⁻¹								
V3/V4	150	65	10	20	2	4	-	-	-
V8	150	65	10	-	-	-	-	-	-
R2	150	70	10	-	-	-	50	300	750
R5.1/R5.2	-	-	-	-	-	-	50	300	750
Total	450	200	30	20	2	4	100	600	1500

**OBS: para Mg, as doses foram calculadas utilizando-se MgSO₄ 7 H₂O (9% Mg)
No caso de utilizar MgCl₂ 6H₂O (8,5% Mg) , a dose corresponde a 2/3 da anterior (400)**

Tradicionais:



Absorção mais rápida com menor umidade relativa do ar → **Maior Deliquescência**
→ Possibilita redução da dose (2/3)

(FERNANDEZ, et al., 2015).

Problemas de incompatibilidade: inibição competitiva e não competitiva

Evolução do uso de Quelatos e Fosfitos → **Maior eficiência**

Comparação de fontes: Sais x Quelatizados

Fonte	Vantagem	Desvantagem
Sulfatos	• Baixo Custo	• Baixa eficiência • Lenta absorção
Fosfatos	• Baixo Custo	• Baixa absorção
Cloretos	• Rápida absorção	• Baseado no cloro, esta fonte pode ser prejudicial as plantas se absorvido em altas quantidades
Nitratos	• Rápida absorção • Carreador de nitrogênio	• É restrito a alguns cultivos e a aplicação devido ao nitrogênio; excesso de vegetação, p.ex. • Quando usado em excesso, pode contaminar a água do lençol freático
Quelatos	• Rápida absorção	• Alto custo • Demanda muita energia para a liberação dos nutrientes de forma a deixá-los disponíveis

SAIS: $\text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$

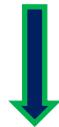
Fontes de micronutrientes – Soja

Mo / Co / Ni 
1/2 da dose via semente
1/2 da dose via foliar



Aumentando o uso exclusivamente via foliar: até **80 g ha⁻¹ Mo** (V4; R1; R5)

Gitti et al., 2016 (Fundação MS)



Aumentos significativos de produtividade

Manganês:

Doses menores para fontes quelatizadas a base de EDTA (13% Mn):

120g ha⁻¹ Mn → Produção de 70 sc ha⁻¹ soja

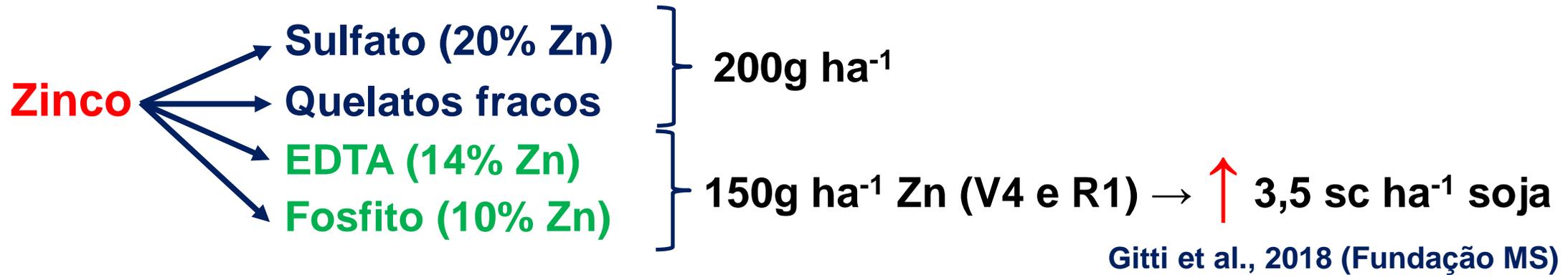
(Gitti et al., 2018 (Fundação MS))

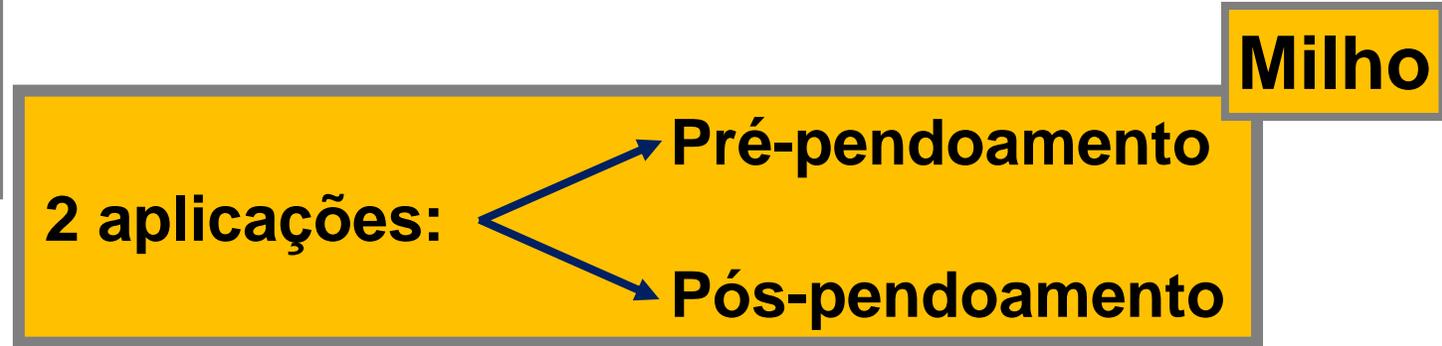
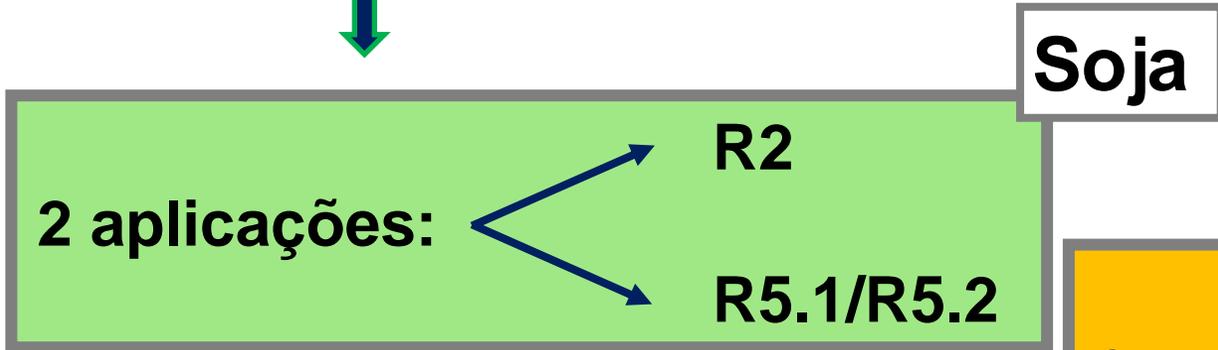
Dose de fosfito: **140g ha⁻¹ Mn**

Mn (V3/V4) + Glifosato →

Obrigatoriamente: Quelato ou Fosfito

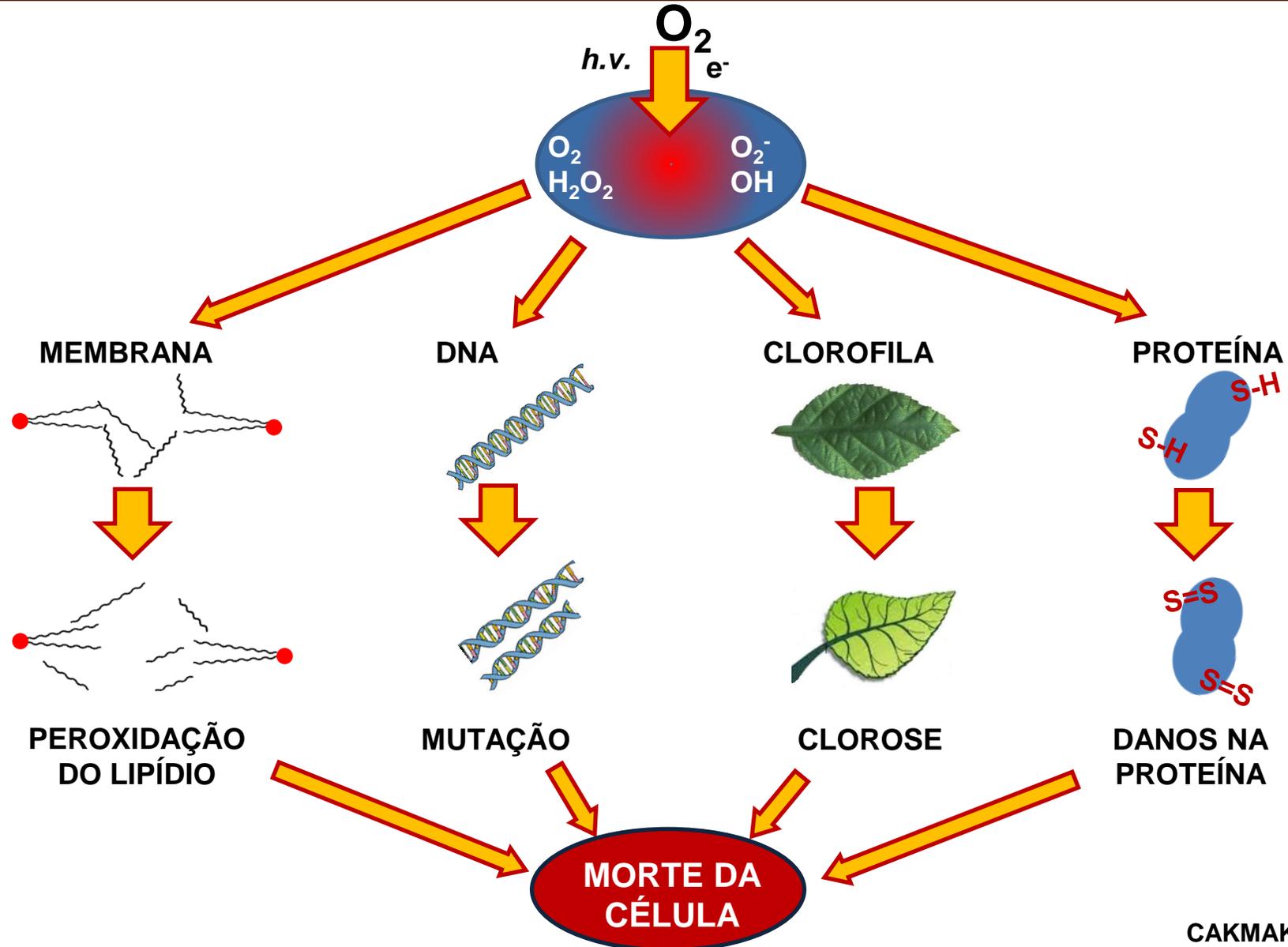
Fontes de micronutrientes – Soja



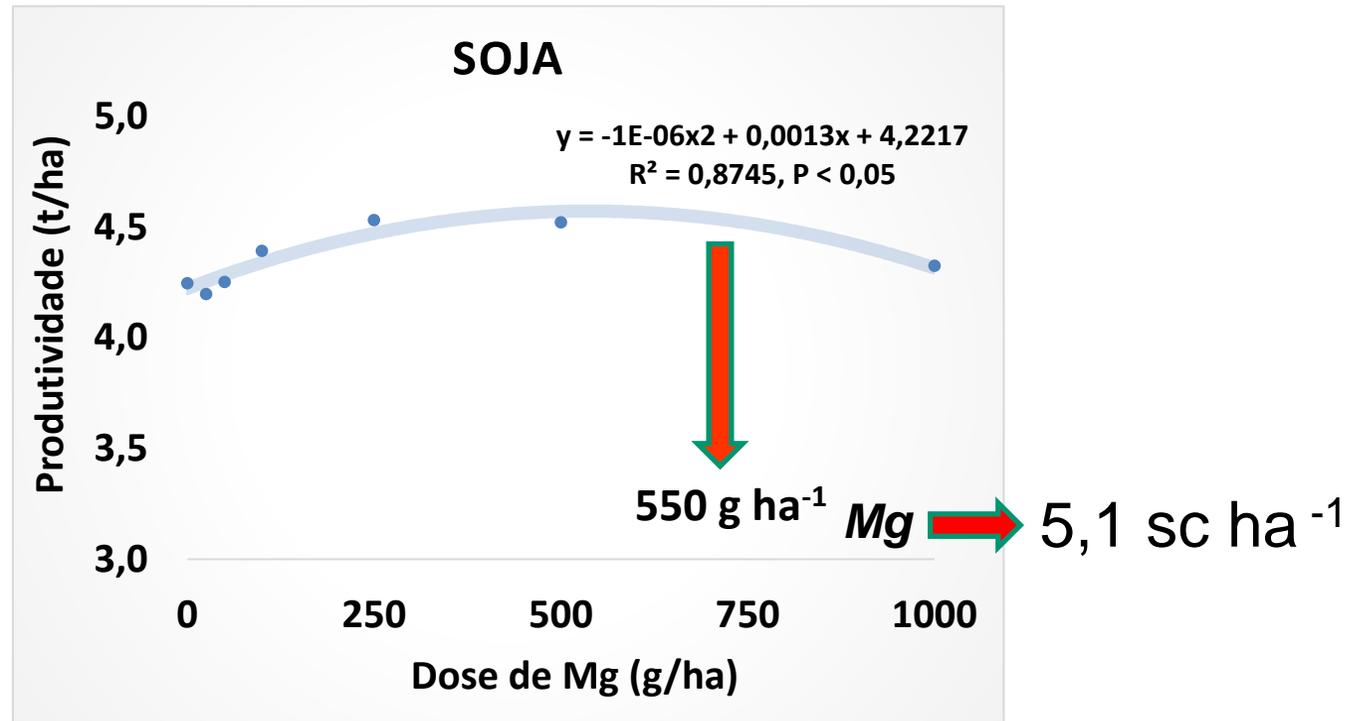


→ atua na quebra da H_2O_2

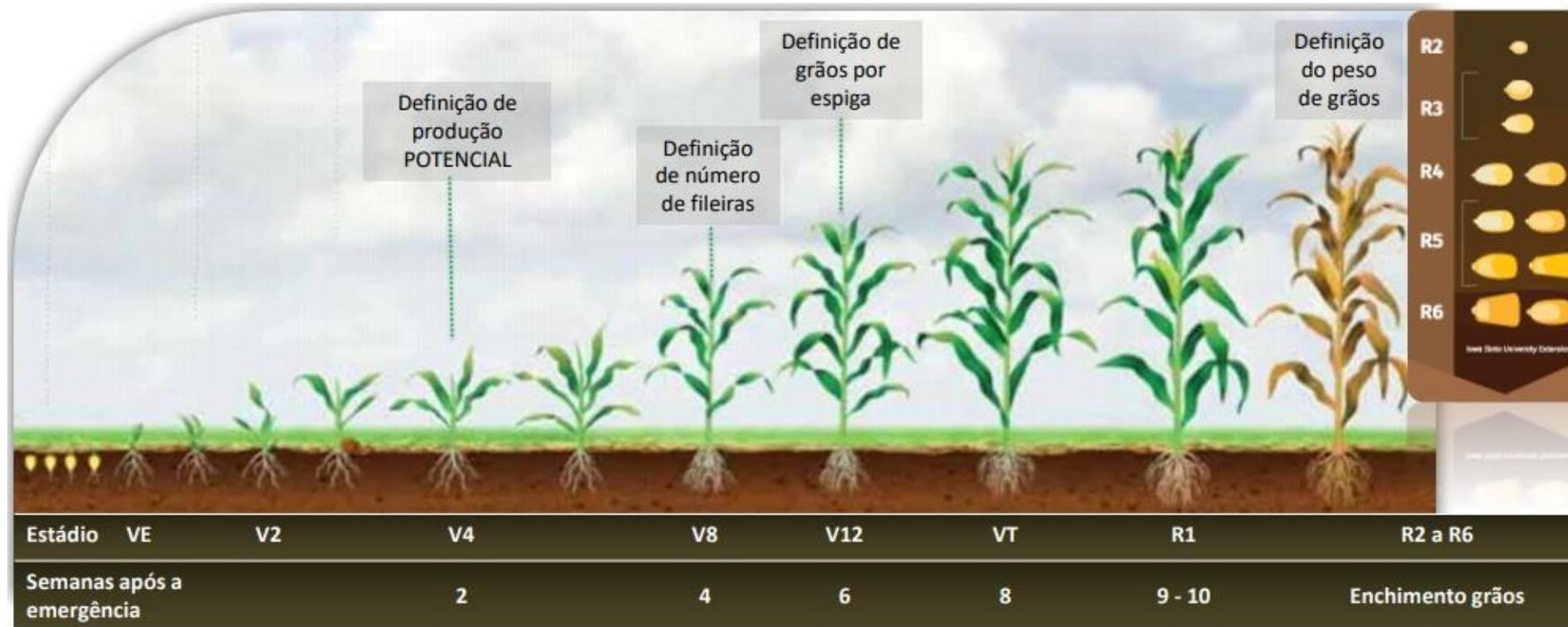
→ Aumenta a energia da planta pela formação de ATP



APLICAÇÃO FOLIAR DE MAGNÉSIO EM SOJA



FENOLOGIA



↑
V4

S/A AGRO INDUSTRIAL ELDORADO

Estádio	Mn	Zn	Cu	Mo	Mg*	P ₂ O ₅
	----- g ha ⁻¹ -----					
V4	50	60	-	30	-	-
V8	100	60	25	30	-	-
Pré – Pendoamento	100	-	25	0	450	750
Pós – Pendoamento	-	-	25	-	450	750
TOTAL	250	120	75	60	900	1500

OBS: para Mg, as doses foram calculadas utilizando-se MgSO₄ 7 H₂O (9% Mg)

No caso de utilizar MgCl₂ 6H₂O (8,5% Mg) , a dose corresponde a 2/3 da anterior (600)

Quanto e em que Época aplicar? Via Foliar

Zinco:

Aplicado junto com o inseticida para o controle da lagarta do cartucho (entre a 4ª e 6ª folha).

Existem híbridos mais susceptíveis à toxidez de Zinco, como o AG7010 e P30F53;

Dose: 100 a 400g ha⁻¹

Fontes: Quelatizado e sais

Manganês

Aplicado na 4ª e 6ª folha;

Dose: 100 a 300g ha⁻¹

Fontes: Fosfito, quelatizado e sais

Molibdênio: 60 g ha⁻¹



Milho



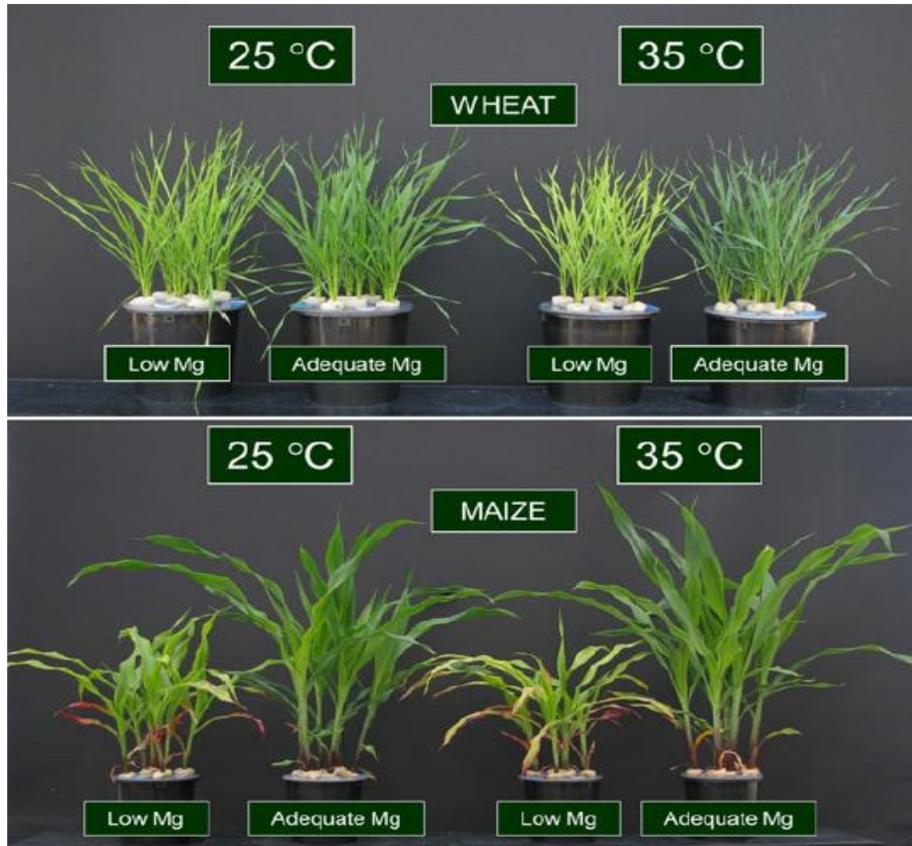
Fitotoxidez

Híbridos sensíveis a Foliar: AG 7010 e P30F53



Safra 2009/10 Eldorado

Plantas de trigo e milho submetidas a diferentes temperaturas e doses de magnésio



Magnésio adequado:
2 x 450 g ha⁻¹ Mg
(MgSO₄·7H₂O)
Época: pré e pós pendoamento

(Mengutay *et al.*, 2013).

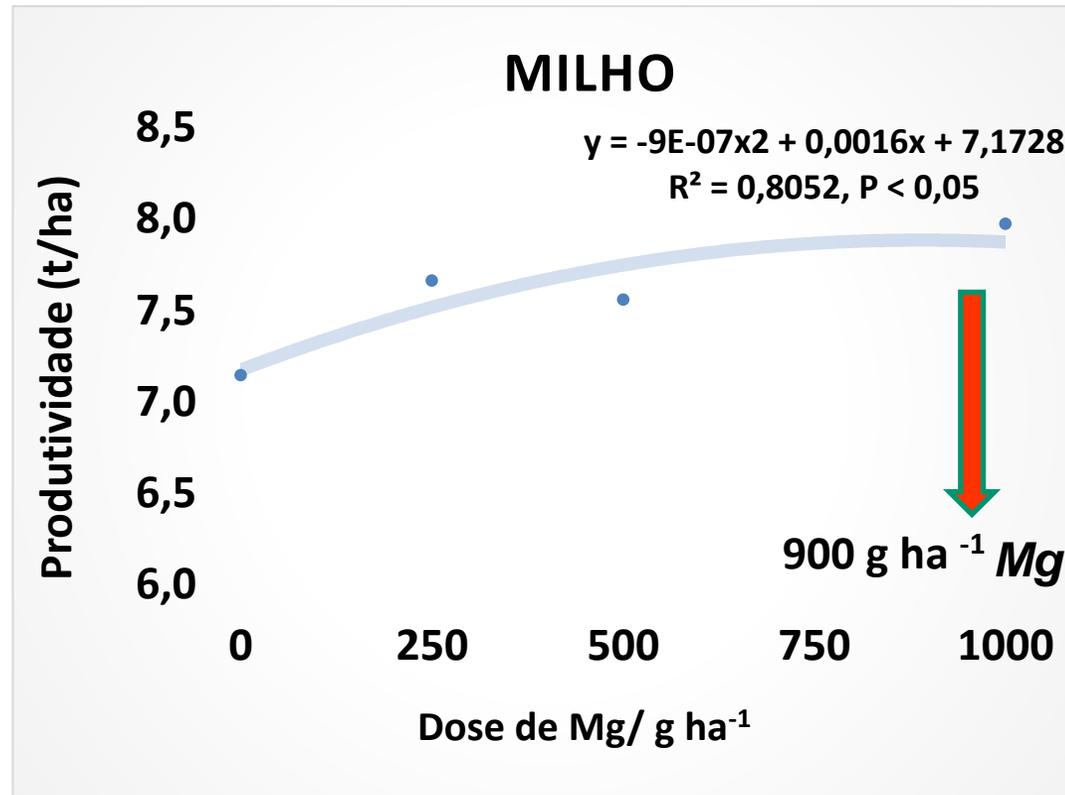
Deficiência de Mg



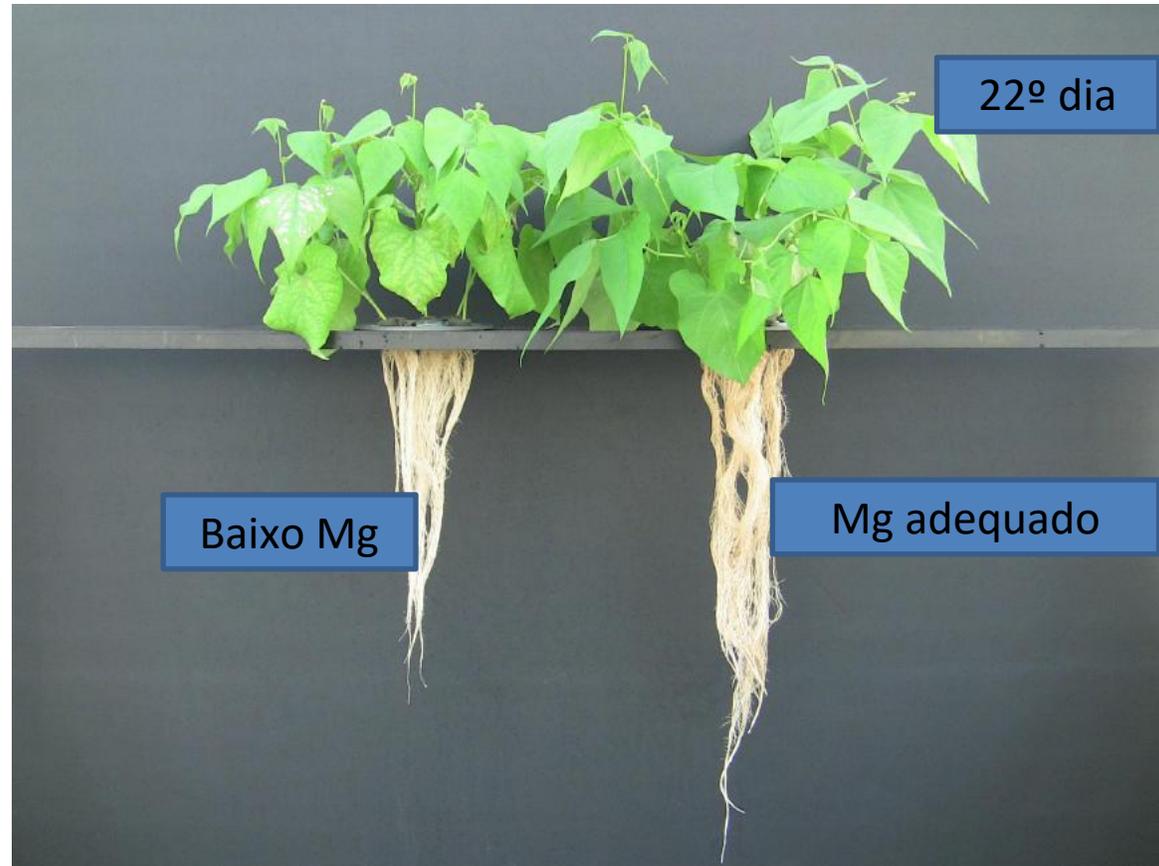
Pré-pendoamento



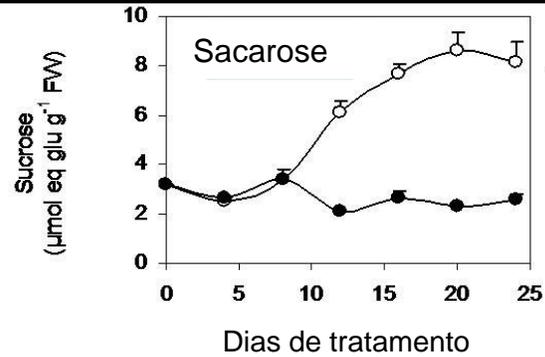
APLICAÇÃO FOLIAR DE MAGNÉSIO EM MILHO



13,8 sc ha⁻¹
(14%)



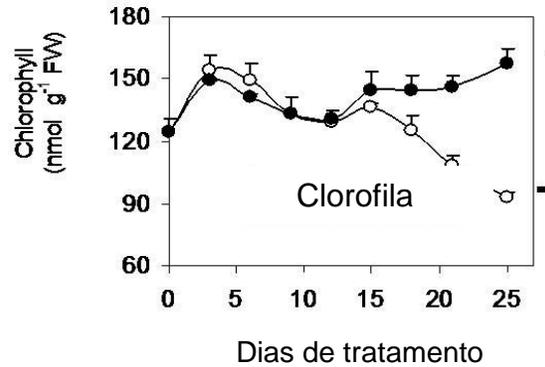
Mudanças na concentração de clorofila e sacarose na folha durante a deficiência de Mg



Baixo Mg

Adequado Mg

Beterraba
açucareira



Adequado Mg

Baixo Mg

Hermans et al., 2004 Planta

Doses e épocas de aplicação dos micronutrientes metálicos, na forma quelatizada, boro e magnésio via foliar para a cultura do feijoeiro

Época de aplicação	Mn	Zn	Cu	Mo	B	Mg
	-----g ha ⁻¹ -----					
V4	150	75	25	60	30	
R5 (pré-floração)	150	75	25	-	30	300
R8 (enchimento de grão)	-	-	-	-	-	300
TOTAL	300	150	50	60	60	600

*Tem como opção a aplicação de 50% da dose recomendada de cobalto e níquel no tratamento de semente e a outra metade no estágio fenológico de V4. Este manejo também forneceria parte do Mo recomendado;

Adução foliar

Micro e Macronutrientes

Época de aplicação	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Co	Ni	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	-----g ha ⁻¹ -----										
V4	140	55	10	15	30	1,5	4,5		240	800	240
R5	140	55	10	175				340	240	1000	240
R8								180			
TOTAL	280	110	20	190	30	1,5	4,5	520	480	1800	480

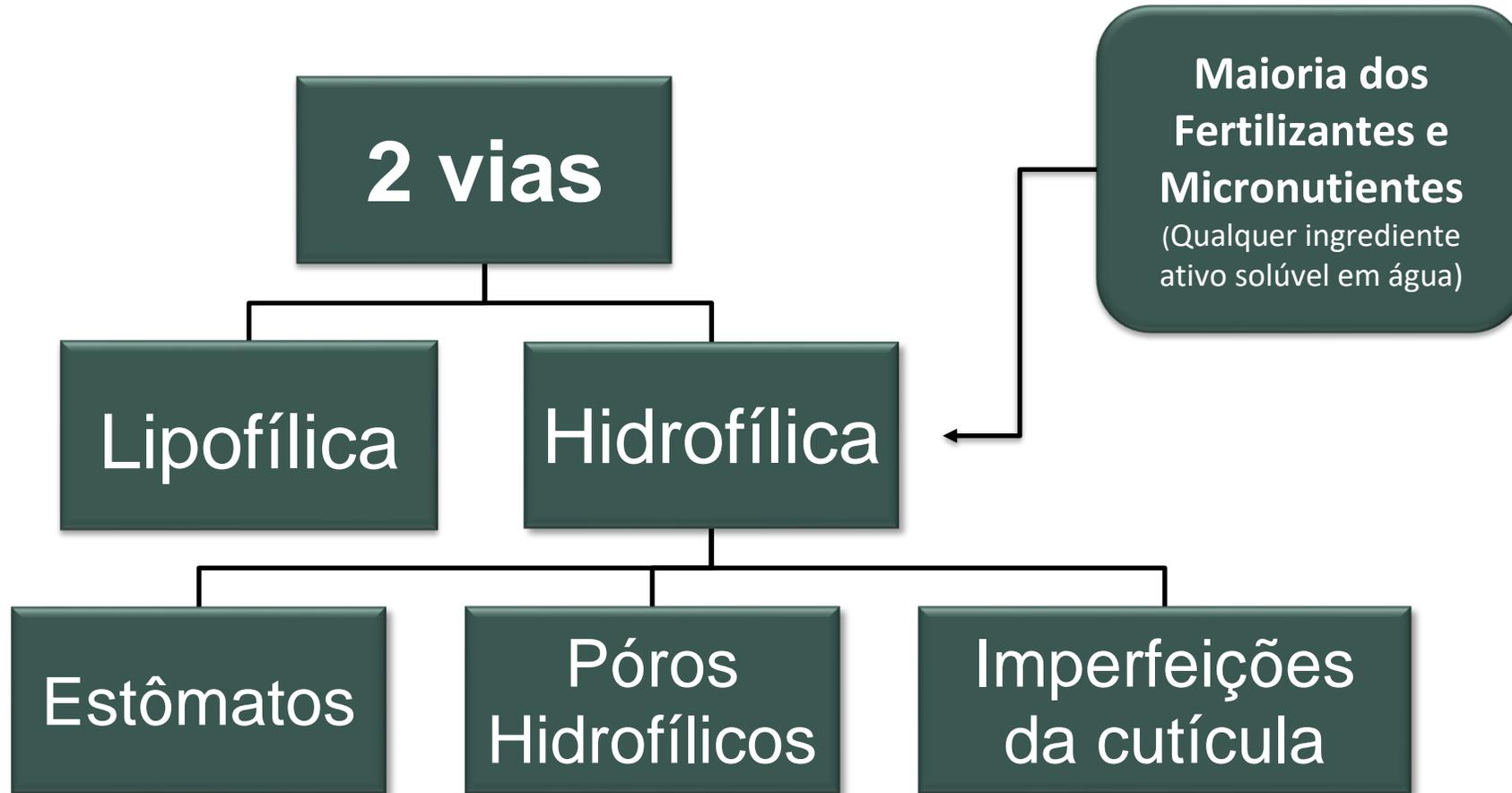


**Cultivar: BRS Estilo (71 sc ha⁻¹)
Jaborandi-BA**



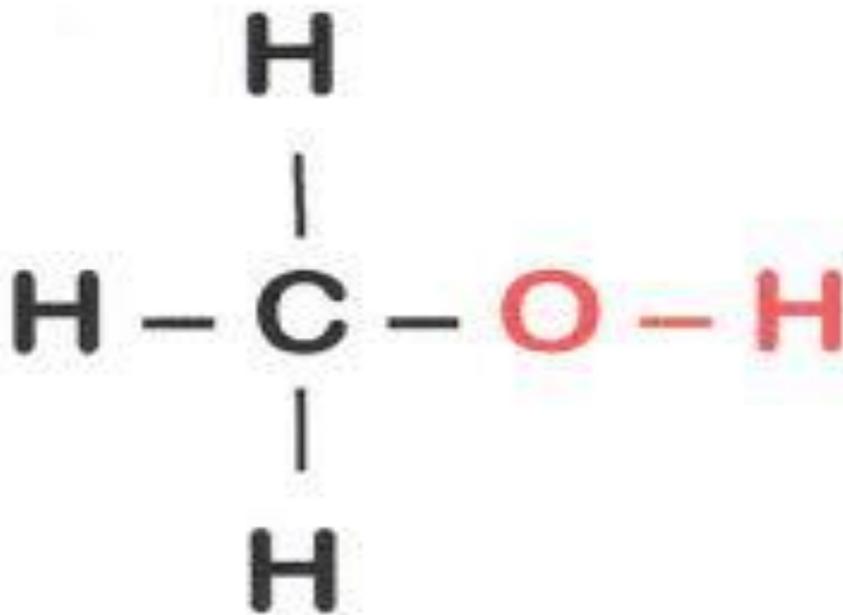
**Cultivar: BRS Estilo (71 sc ha⁻¹)
Jaborandi-BA**

Rotas de adubação foliar

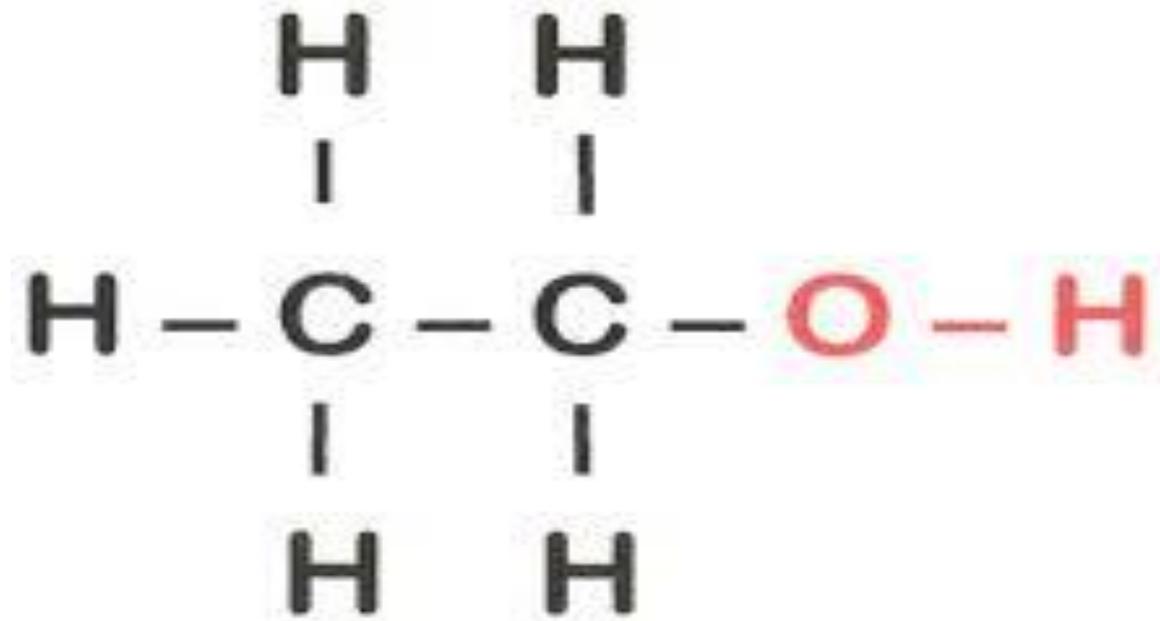


- ✓ **Polímero orgânico sendo um álcool contendo múltiplos grupos HIDROXILA (OH-).**
- ✓ **Cadeia de Carbonos longa.**
- ✓ **Alta solubilidade em água.**
- ✓ **Necessariamente natural.**
- ✓ **Alta mobilidade na planta.**
- ✓ **Carreador de nutrientes e metabólitos orgânicos.**

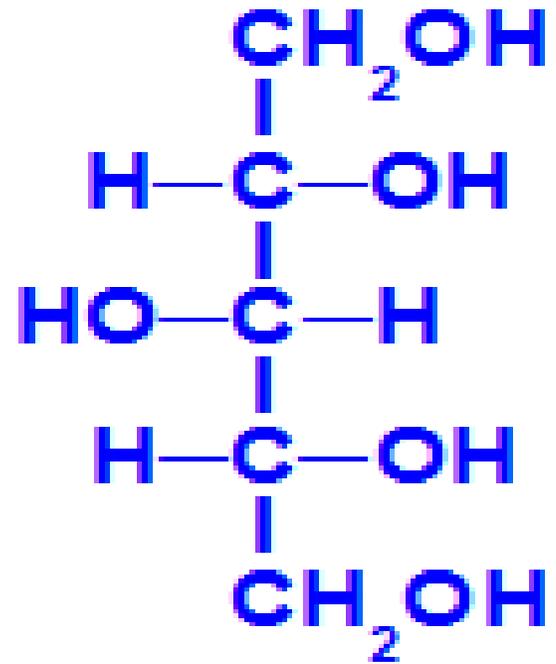
ÁLCOOL: METANOL



ÁLCOOL: ETANOL



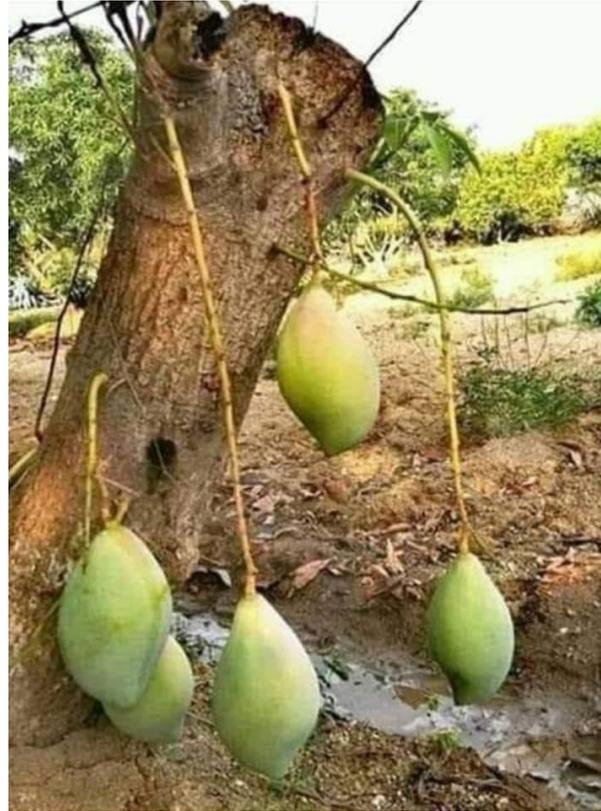
POLIOL: XILITOL



POLIOL



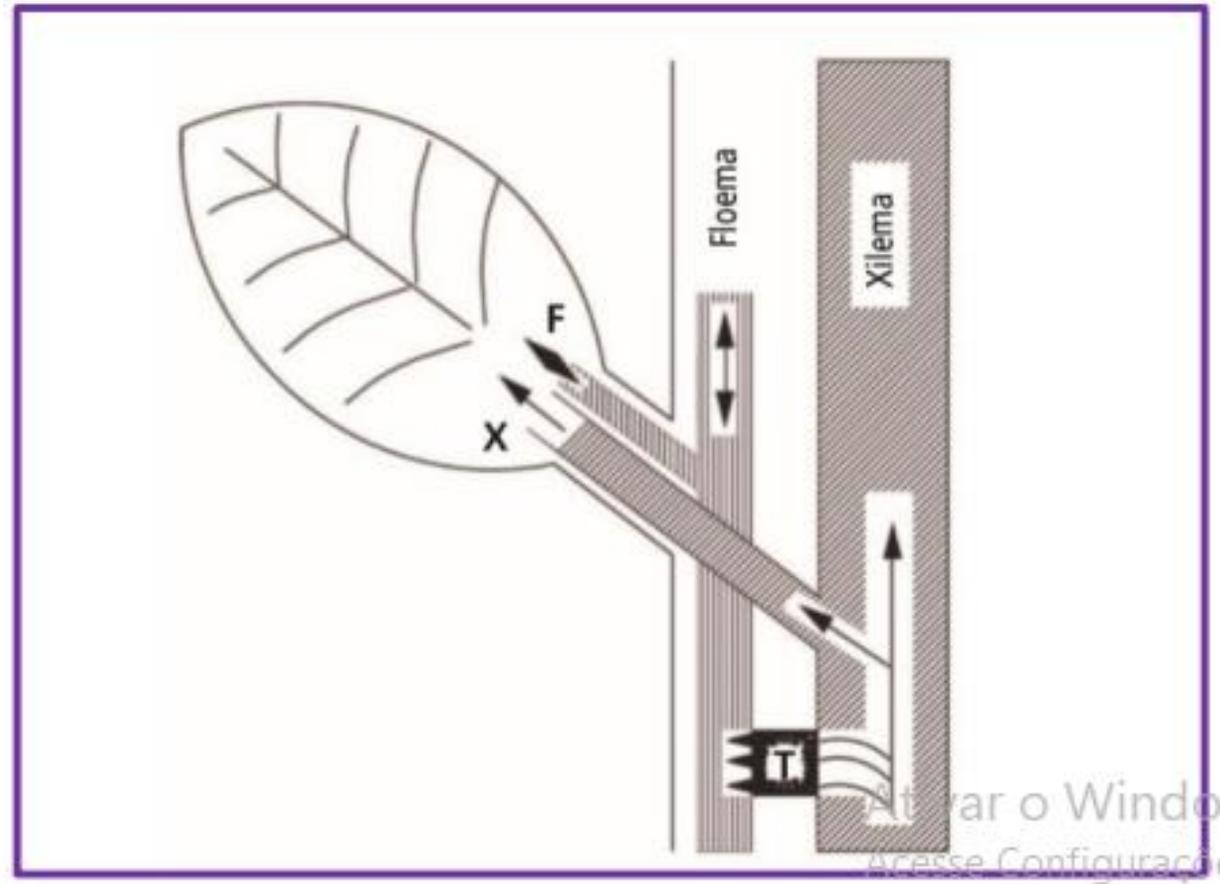
POLIOL



Historicamente o boro foi considerado imóvel no floema

- Xilema: transporte a longa distância
- Floema: redistribuição

Fonte: Marschner (2011)



Mobilidade de redistribuição do boro

Historicamente o boro foi considerado imóvel no floema

Altamente móveis	Móveis	Parcialmente móveis	Imóveis
N	P	S	Ca
K	Cl	Zn	→ B
Na	Mg	Cu	
		Mn	
		Fe	
		Mo	

Entretanto, redistribuição do B depende da cultura

Polióis (ou álcool-açúcares), são formas de açúcares encontrados em plantas



Figura 4.8. O boro é imóvel no cultivar natural de tabaco "tipo selvagem" (a) e altamente móvel no cultivar transgênico (b), no qual o gene para produção de sorbitol foi inserido (Brown et al., 1999). As plantas foram cultivadas durante 45 dias com teor de B adequado e então transferidas para meio livre de B por 72 horas. Após esse período, a deficiência de B foi significativa, incluindo aborto de flores no tipo selvagem, mas não no cultivar transgênico. A mobilidade do B no floema das espécies transgênicas impediu a deficiência, permitindo a reutilização do B anteriormente absorvido.

- ✓ **B é móvel em árvores que usam sorbitol como forma de transporte de carboidrato (Brown & Hu, 1996)**
- ✓ **Complexos de B com manitol, sorbitol e frutose encontrados no floema de plantas com mobilidade do B (Hu et al., 1997)**
- ✓ **Também foi observado redistribuição do B em espécies como canola, girassol e tremoço-branco (Stangoulis et al., 2001; Match and Ochiai, 2005; Huang et al., 2008) Novas estratégias no manejo**

- ✓ Em Eucalipto, foi observado diferença entre clones na redistribuição de B, possivelmente associado à presença de manitol (São José et al., 2009)
- ✓ Aplicação de B em folha velha deficiente em B **aumentou teor de B em folha nova emergida**
- ✓ Aplicação foliar de **ácido bórico + manitol** foi mais eficiente em aumentar teor de B no tecido do que ácido bórico (São José et al., 2009) No

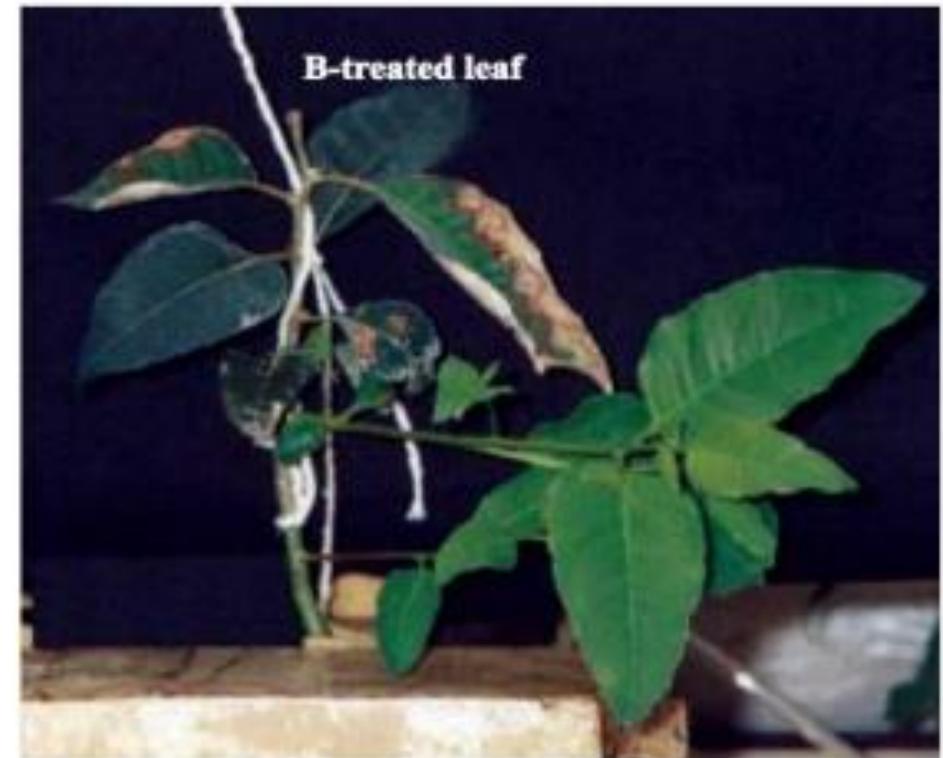


Figure 7. Visual aspect of a B-deficient eucalypt seedling (clone 129) approximately 20 days after application of a boric acid solution to a mature leaf.

Agentes quelantes e complexantes

Grupo das Aminas e Poliaminas

Etilenodiamina

Dietilenotriamina

Trietenotetramina

Tetraetilenopentamina

Grupo dos Ácidos Hidroxicarboxílicos

Ácido Tartárico

Ácido Cítrico

Ácido Glucônico

Ácido Heptaglicônico

Grupo dos Compostos Hidroxiaminas

Monoetanolamina

Dietanolamina

Trietanolamina

N-hidroxietilenodiamina

N-dihidroxietilglicina

Grupo dos Compostos Naturais

Lignosulfonatos

Poliflavonóides

Substâncias Húmicas

Extratos de Algas

D-aminoácidos

Grupo dos Polióis

Sorbitol

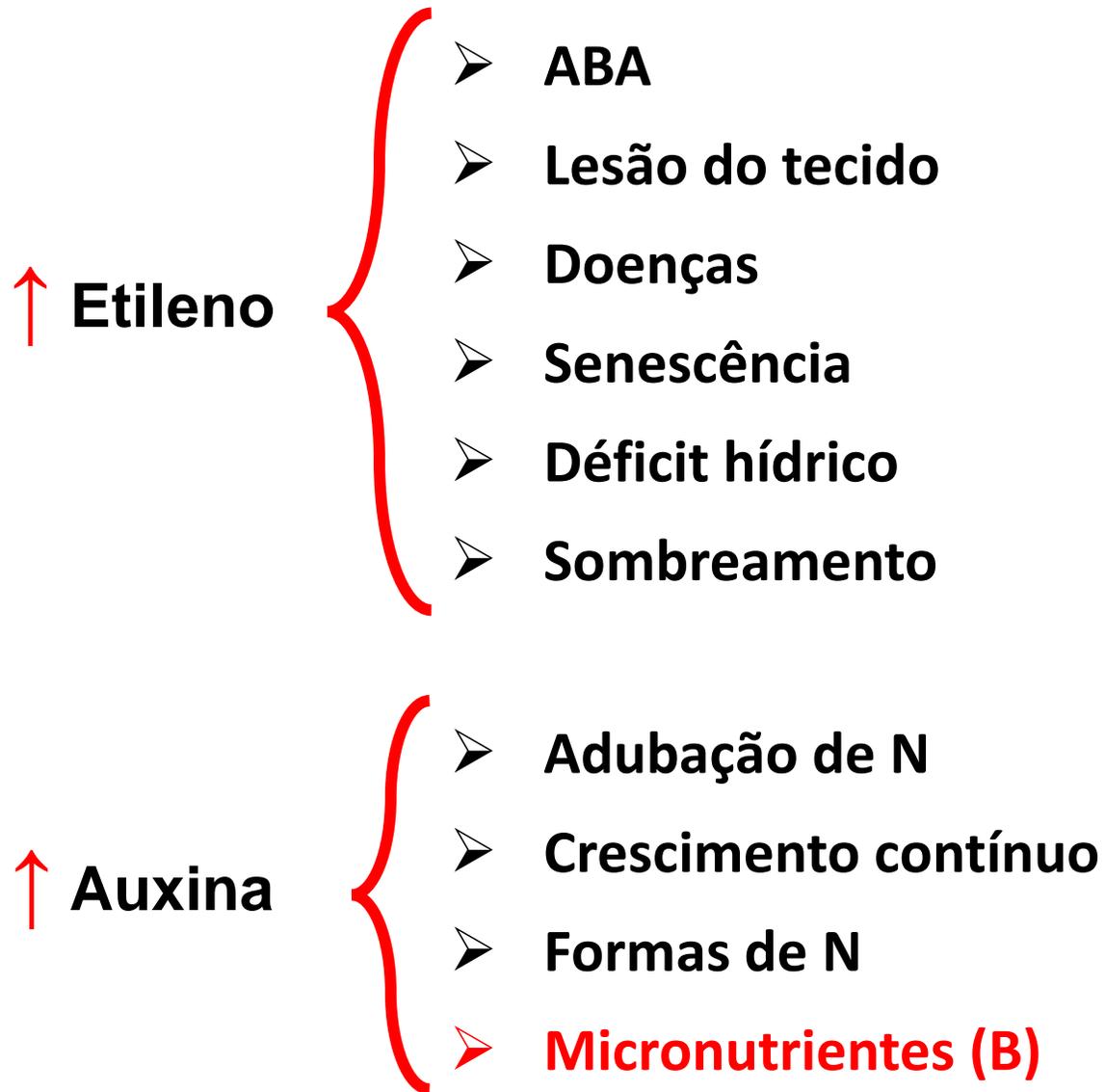
Manitol

Dulcitol

Glicerina

MAPA: 2018

Boro na planta: Abortamento de estruturas reprodutivas



Aplicação suplementar de B foliar



Boro estimula síntese de auxina

B (mg dm ⁻³)	Triptofano (mg dm ⁻³)
0,00	1,27
0,22	1,36
0,44	2,17
1,08	2,55

Marschner et al., 1995

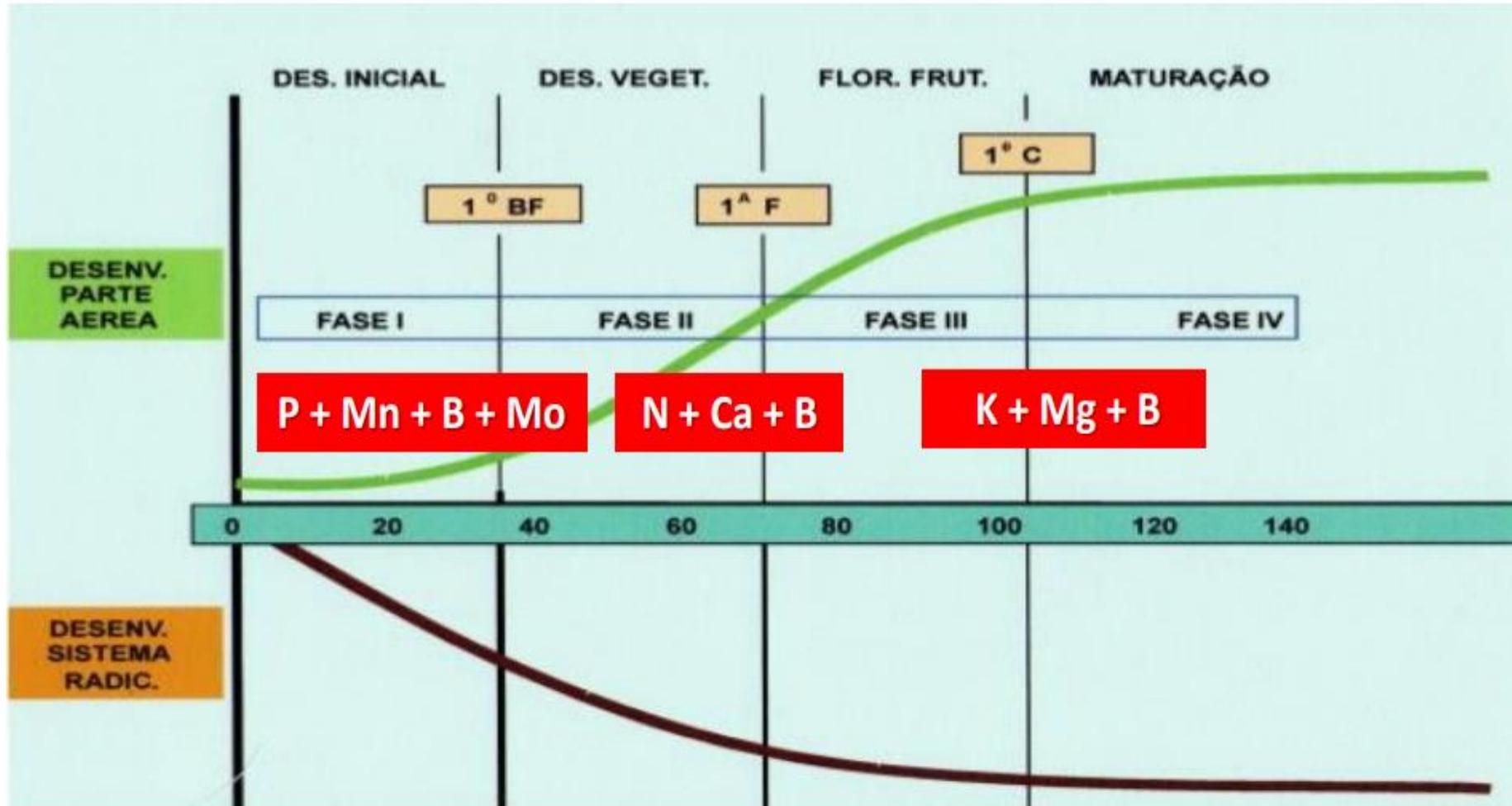
Funções do Boro no algodão

- ✓ Sem suprimento de B → Reduz a taxa de transpiração
- ✓ Def. B: ↑ Atividade da enzima AIA oxidase

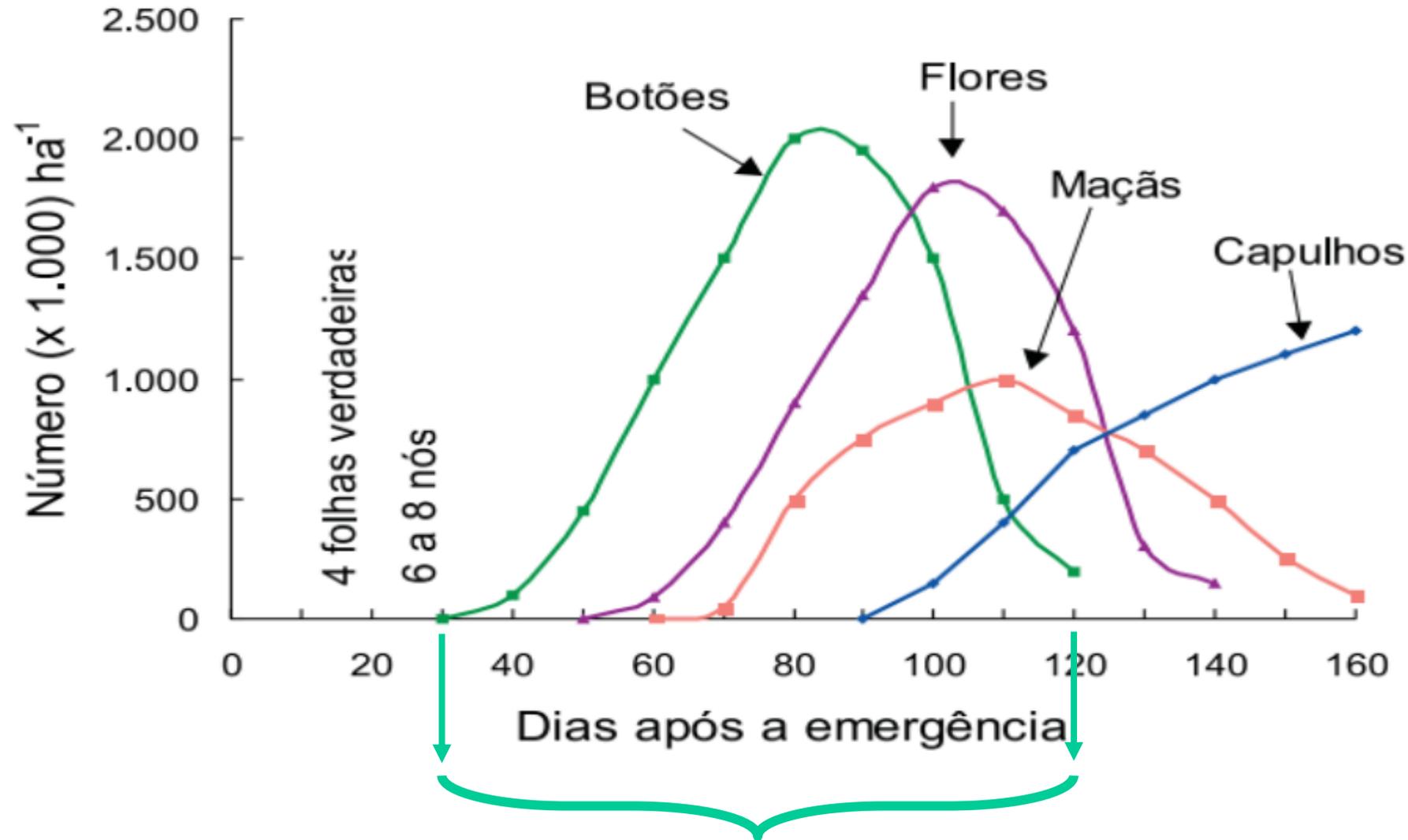


Elongação celular e não divisão celular:
Está ligado à presença de auxinas nas plantas.

Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro.



Ciclo de crescimento do algodoeiro.



Aplicação foliar de B

Potafós, 2001

Boro foliar

30 DAE

5 aplicações



90 DAE

Dose/aplicação = 70 – 100 g ha⁻¹ (sem deficiência evidente)

ou

100 - 150 g ha⁻¹ (com sintomas de deficiência)

90 DAE

2 aplicações



120 DAE

Dose/aplicação = 30 – 50 g ha⁻¹ (sem deficiência evidente)

ou

50 - 100 g ha⁻¹ (com sintomas de deficiência)

Dose total = 450 – 750 g ha⁻¹ B

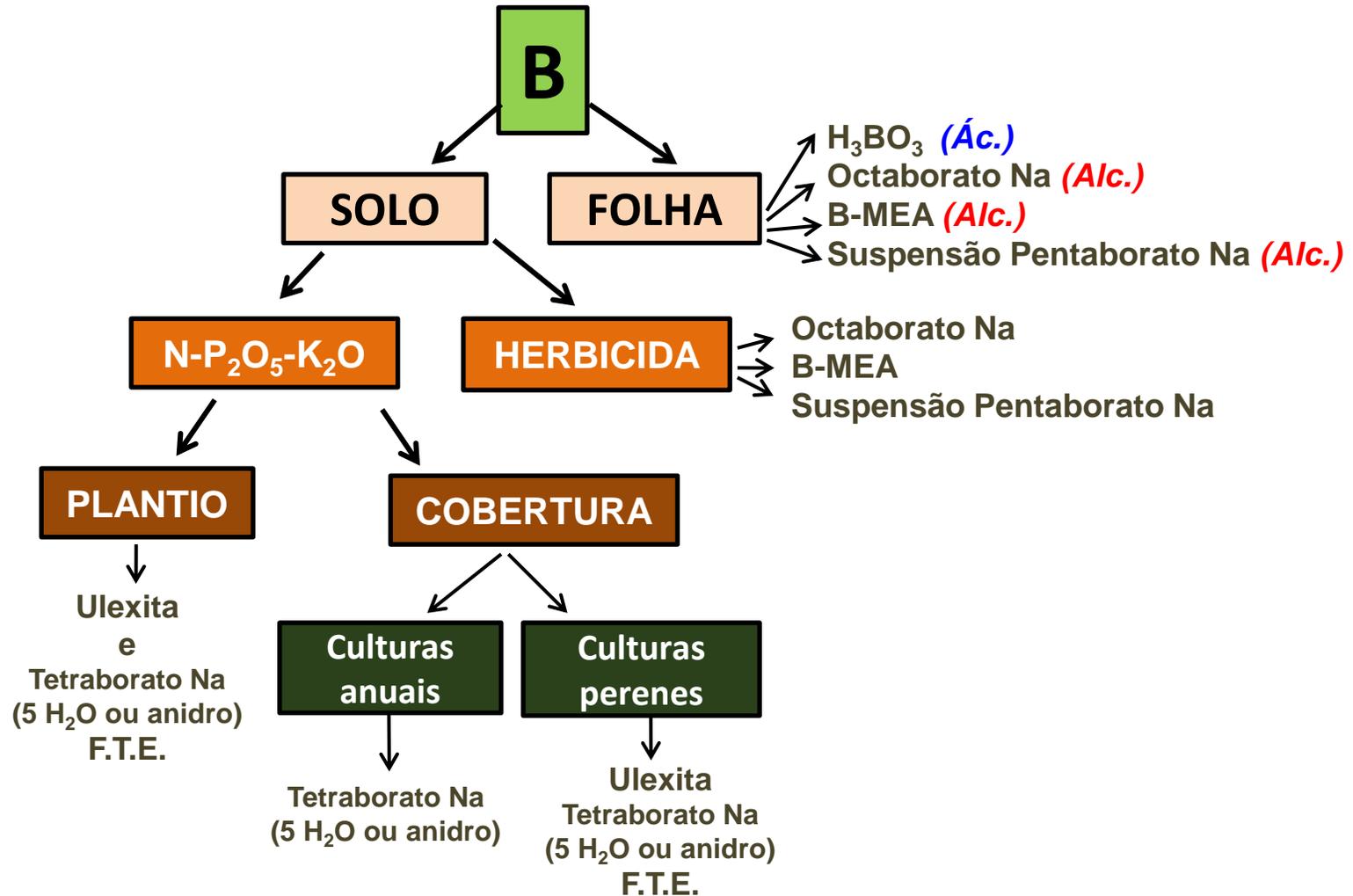
Programa Foliar - Algodão

Objetivo	30 DAE	45 DAE	60 DAE	75 DAE	90 DAE	105 DAE	120 DAE
Nutrição	Produto A (2kg ha ⁻¹ por aplicação - 5x)					Produto B 2kg ha ⁻¹ (2X)	

Garantias e quantidades aplicadas

	Macronutrientes (%)					Micronutrientes (%)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mg	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Produto A	7	13	9	7,76	0,61	3,6	0,72	2,4	0,72	1,2
Produto B	5	10	20	-	8,5	1,5	-	-	-	-
Quantidade de nutrientes aplicados pelo programa (g ha ⁻¹)										
Total aplicado	900	1700	1700	776	401	420	72	240	72	120

Manejo do B na agricultura



Vantagem → Aplicar pequenas doses com precisão

Três métodos principais de utilização (Volkweiss, 1991):

- a) Umedecimento de sementes com a solução de micro;
- b) Deixar sementes de molho algumas horas em soluções a 1 - 2%;
- c) Peletização com carbonato de cálcio, fosfato, goma arábica e micro.

Excelentes resultados para Mo – soja (Milani et al., 2008);

Mo e Co - feijão SPD (Carvalho, 2002); soja (Tiritan et al., 2007)

B, Cu e Zn – germinação de arroz (Ohse et al., 2001);

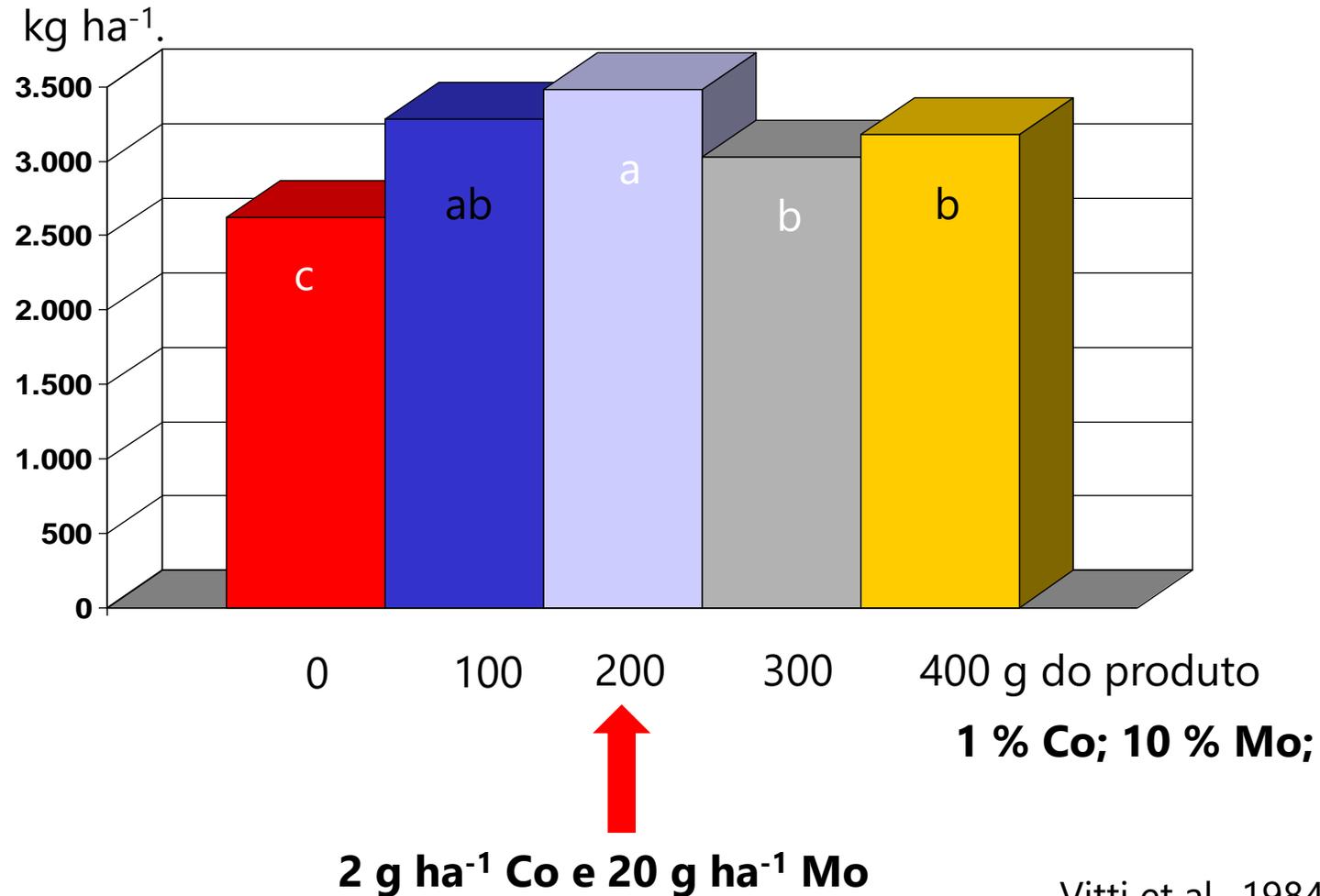
Mn – soja (Melarato et al., 2002);

Zn – sorgo (Yagi et al., 2006) .

Bays et. al. (2007) - Recobrimento da semente de soja cv. BRS 153 com micronutrientes (Co, Mo e B) na dose de 2 ml kg⁻¹ de sementes; um fungicida com mistura de Carbendazim + Thiram e um complexo polímero + corante.

Tratamento de sementes com Co e Mo vs produção, Latossolo Vermelho Escuro, média, Jaboticabal, SP.

SOJA



Vitti et al., 1984.

Zinco: formas de aplicação

Rendimentos de grãos a 0,13 kg kg⁻¹ de umidade (híbrido BR 201) cultivado num Latossolo vermelho-escuro, argiloso, fase cerrado, em função de métodos de aplicação de Zinco.

Fontes	Doses de Zn (kg ha ⁻¹)	Métodos	Teor de Zn no solo (mg dm ⁻³)	Produção (t ha ⁻¹)
Controle	-	-	0,6	4,56 c
Sulfato	0,4	Lanço (1° ano)	0,7	6,35 b
Sulfato	1,2	Lanço (1° ano)	1,1	7,62 a
Sulfato	3,6	Lanço (1° ano)	1,3	7,90 a
Sulfato	7,2	Lanço (1° ano)	2,4	7,81 a
Sulfato	1,2	Sulco (1° ano)	0,8	7,43 a
Sulfato	0,4	Sulco (1°, 2° e 3° ano)	1,1	7,09 ab
Óxido⁽¹⁾	0,08	Sementes	1,0	7,74 a
Sulfato⁽²⁾	1%	Via foliar	0,5	7,47 a
Sulfato⁽³⁾	1%	Via foliar	0,7	7,14 a

(1) Óxido de zinco (80% de Zn): 1kg ZnO/ 20kg de semente.

(2) Solução a 1% de sulfato de zinco (23% de Zn na 3 e 5 semanas após emergência.

(3) Solução a 1% de sulfato de zinco (23% de Zn na 3, 5 e 7 semanas após emergência.

Aplicação em Raízes de Mudanças

Imersão de raízes de mudas a serem transplantadas em solução ou suspensão contendo um ou mais micronutrientes

Exemplos:

- ✓ Imersão de mudas de arroz em suspensão contendo ZnO a 1% em sistemas irrigação por inundação em vários países (Ásia, Egito e EUA);
- ✓ Cultura da mandioca para a região dos cerrados quando não é possível aplicar Zn via solo.
- ✓ Galvão (2002) recomenda a imersão de manivas de mandioca numa solução de 4 % de ZnSO₄ durante quinze minutos

Parâmetros:

- ✓ Exigências nutricionais das culturas
- ✓ Diagnóse Visual
- ✓ Diagnóse Foliar
- ✓ Análise Química do solo

Extração e exportação média de micronutrientes pelo algodoeiro para produção de uma tonelada de algodão em caroço

Parte da planta	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g t ⁻¹ -----				
Extração	120	45	1.300	95	50
Exportação	30	7	300	30	25

Carvalho & Ferreira, 2006 – Circular Técnica 92, EMBRAPA Algodão – Calagem e Adubação do Algodoeiro no Cerrado

Diagnose Visual: Deficiência de Mg



- coletar a 5^a folha totalmente formada a partir do ápice da haste principal
- Início do florescimento (B_3 a B_5)
- total de 30 folhas por área homogênea



Diagnose foliar

NUTRIENTES	MALAVOLTA et al. ¹ (1997)	SILVA et al. ² (1995)	YAMADA et al. ³ (1999)*
Macronutrientes	-----g kg ⁻¹ -----		
N	35-40	35-43	40-45
P	2,0-2,5	2,5-4,0	3-4
K	14-16	15-25	20-25
Ca	30-40	20-35	25-35
Mg	4,0-5,0	3-8	4-8
S	2,0-3,0	4-8	4-6
Micronutrientes	-----mg kg ⁻¹ -----		
B	20-30	30-50	40-80
Cu	30-40	5-25	10-15
Fe	60-80	40-250	80-250
Mn	20-40	25-300	35-80
Mo	1-2	-	1
Zn	10-15	25-60	30-40

¹ 160 @/ha

² > 300 @/há

³ → Lavouras de alta produtividade no Cerrado – **40-80 mg kg⁻¹ B**



RETIRADA DE AMOSTRAS DE SOLO

(Produtor)



ANÁLISE DE SOLO

(Pesquisador)



INTERPRETAÇÃO E RECOMENDAÇÃO

(Pesquisador e Extensionista)



UTILIZAÇÃO

(Produtor)

PROFUNDIDADE

0 - 20 - Micronutrientes

$$\underline{\text{ADUBAÇÃO}} = (\text{PLANTA} - \text{SOLO}) \times f$$

Limites de classes de teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn

Teor	B água quente	Cu	DTPA			Zn
			Fe	Mn		
mg dm ⁻³						
Baixo	0 - 0,2	0 - 0,2	0 - 4	0 - 1,2		0 - 0,5
Médio	0,21- 0,6	0,3- 0,8	5 - 12	1,3- 5,0		0,6- 1,5
Alto	> 0,6	> 0,8	> 12	> 5		> 1,5

**Extrator DTPA ou Mehlich*

1 mg dm⁻³ B, Cu, Fe, Mn, Zn

2 kg ha⁻¹ do micro

Ex: 0,6 mg.dm⁻³ B = 1,2 kg / ha de B

CONCLUSÕES

- ▶ **Micronutriente é o último insumo a ser aplicado no processo produtivo;**
- ▶ **O uso adequado de micronutrientes potencializa a eficiência dos macronutrientes, resultando em aumento na produtividade e qualidade do produto obtido;**
- ▶ **O uso de micronutrientes permite resistência a estresse bióticos e abióticos;**
- ▶ **Os micronutrientes mais deficientes em solos tropicais são B e Zn;**
- ▶ **Para os micronutrientes Ni, Co e Mo sugere-se parte da aplicação via semente e parte via foliar (Fabaceas) e em Poáceas aplicação de Zn via semente;**
- ▶ **A forma mais adequada para aplicação de boro é via solo, complementando via herbicida e complementação dos micronutrientes metálicos, via foliar;**
- ▶ **As fontes adequadas para aplicação via solo devem apresentar 60% da solubilidade em HCl (B, Mo, Fe, Zn, Ni, Co) ou CNA + H₂O (Cu e Mn);**
- ▶ **Para aplicações foliares sugere-se fontes com solubilidade em água.**



“O HOMEM COME PLANTA, OU PLANTA TRANSFORMADA (ANIMAL), E SOMENTE ALIMENTANDO A PLANTA, SERÁ POSSÍVEL ALIMENTAR O HOMEM, BEM COMO PRODUZIR FIBRAS E ENERGIA”