

RELAÇÃO ENTRE NUTRIÇÃO DE PLANTAS E INCIDÊNCIA DE DOENÇAS



EFEITO DO SILÍCIO (Si) NA INCIDÊNCIA DE DOENÇAS E PRAGAS DE CULTURA



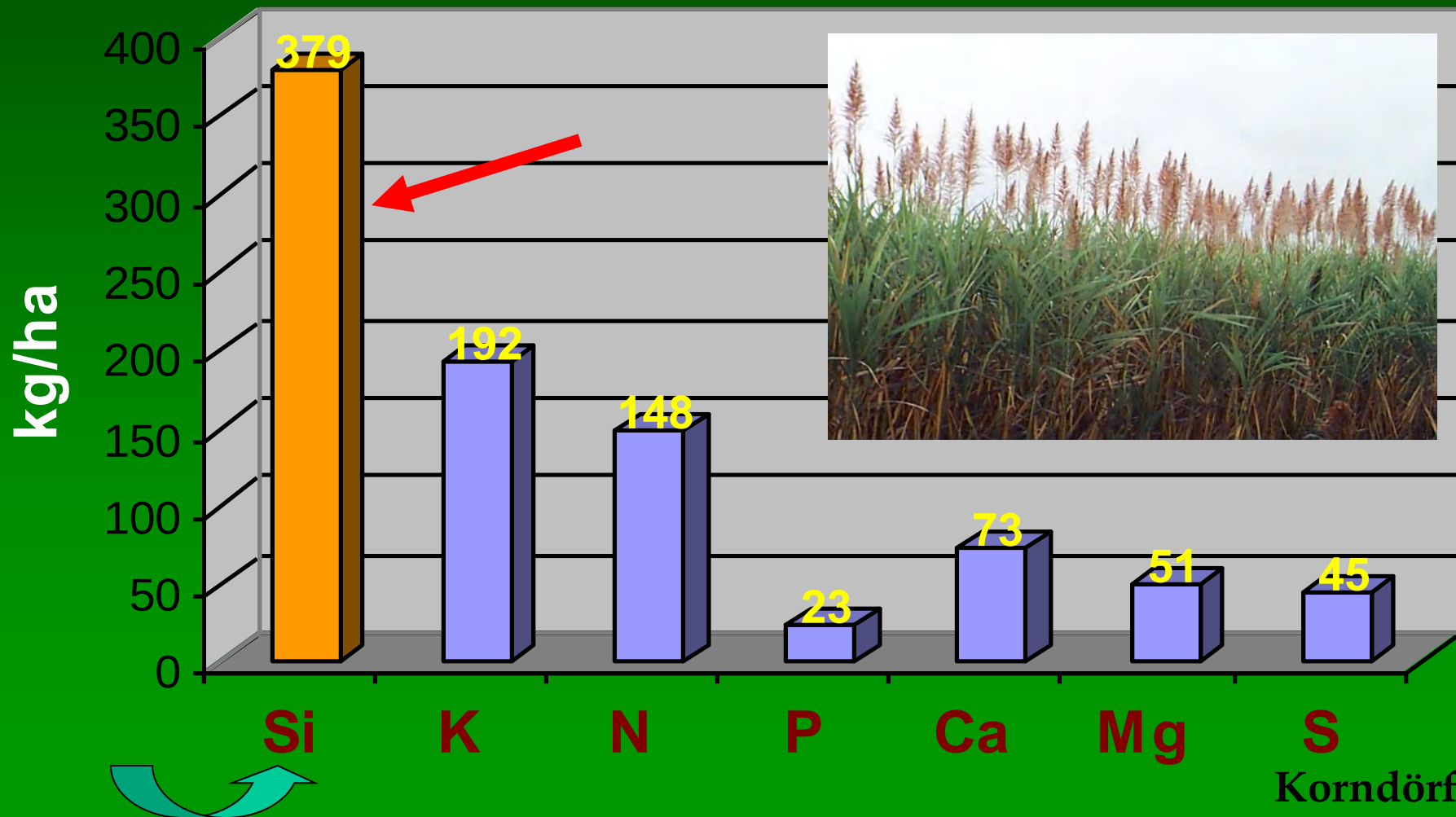
Dr. GASPAR H. KORNDÖRFER

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA,
Uberlândia-MG**

Telefone: (34) 3212-5566 E-mail: ghk@triang.com.br

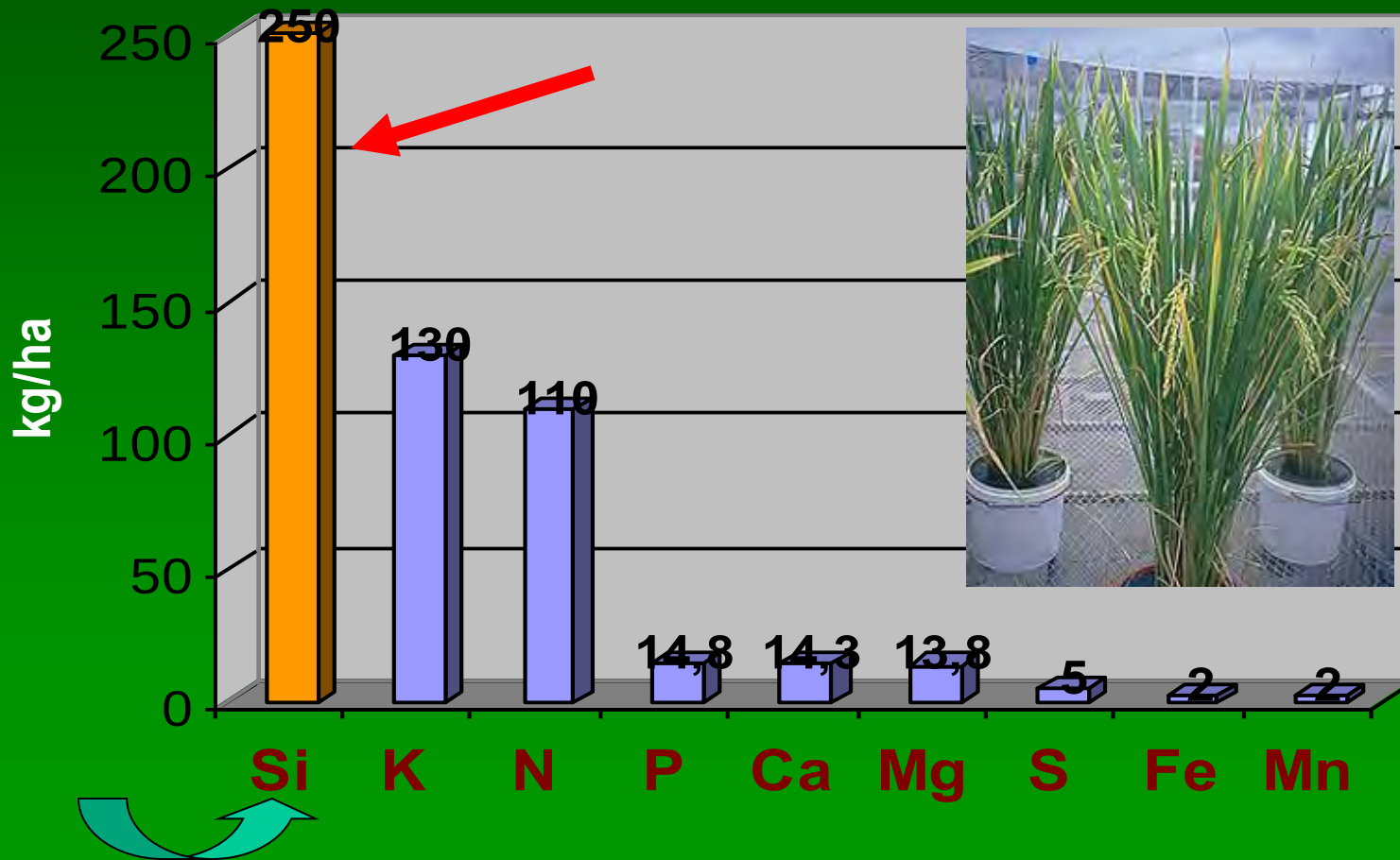
Extração de Nutrientes

Cana 12 meses – Samuels (1969)

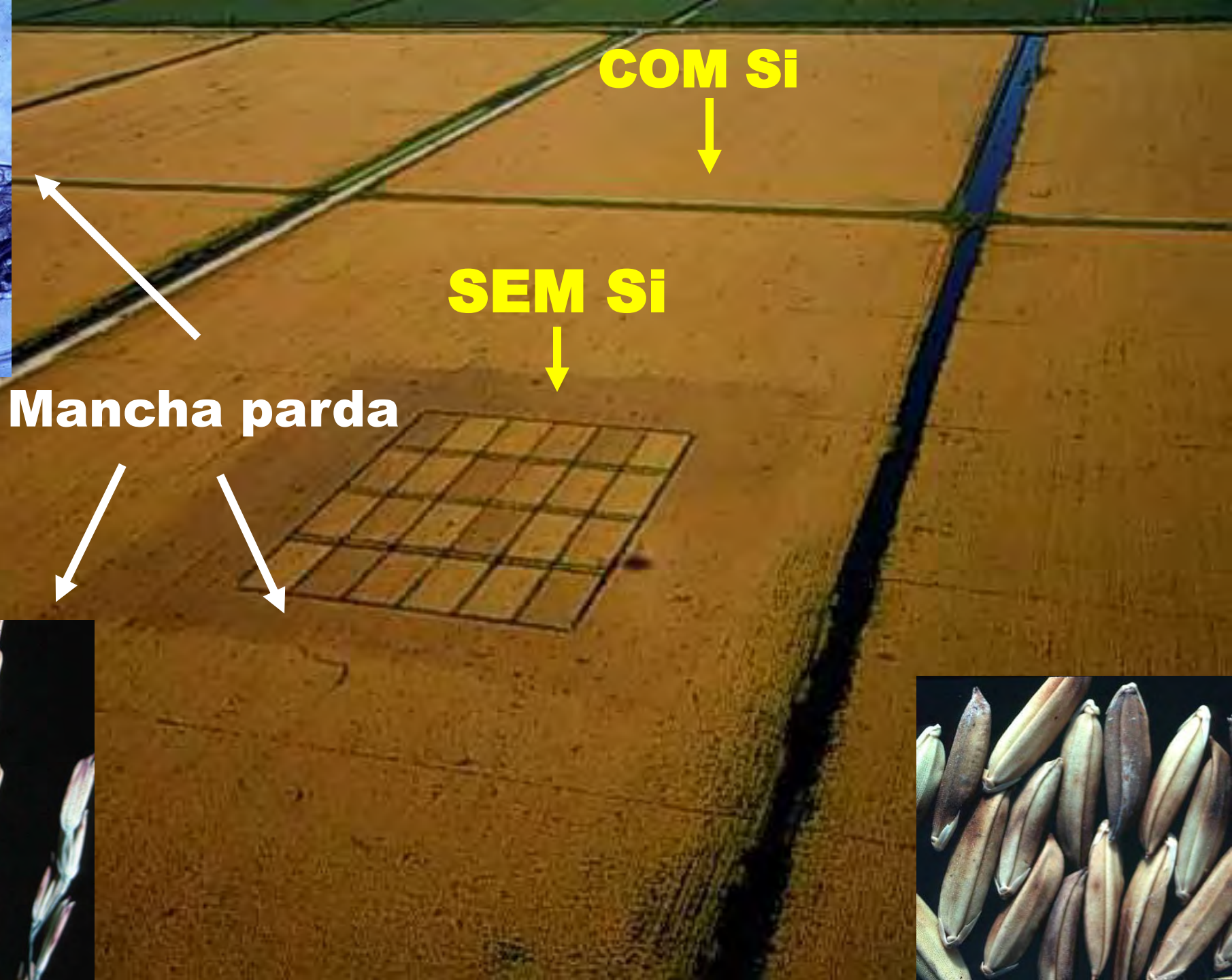


Extração de Nutrientes

ARROZ (5 t/ha)



Korndörfer (2000)



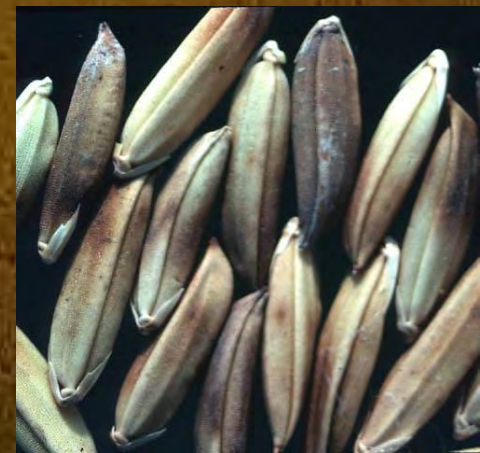
COM Si



SEM Si



Mancha parda



Papel do SILÍCIO X PRAGAS & DOENÇAS

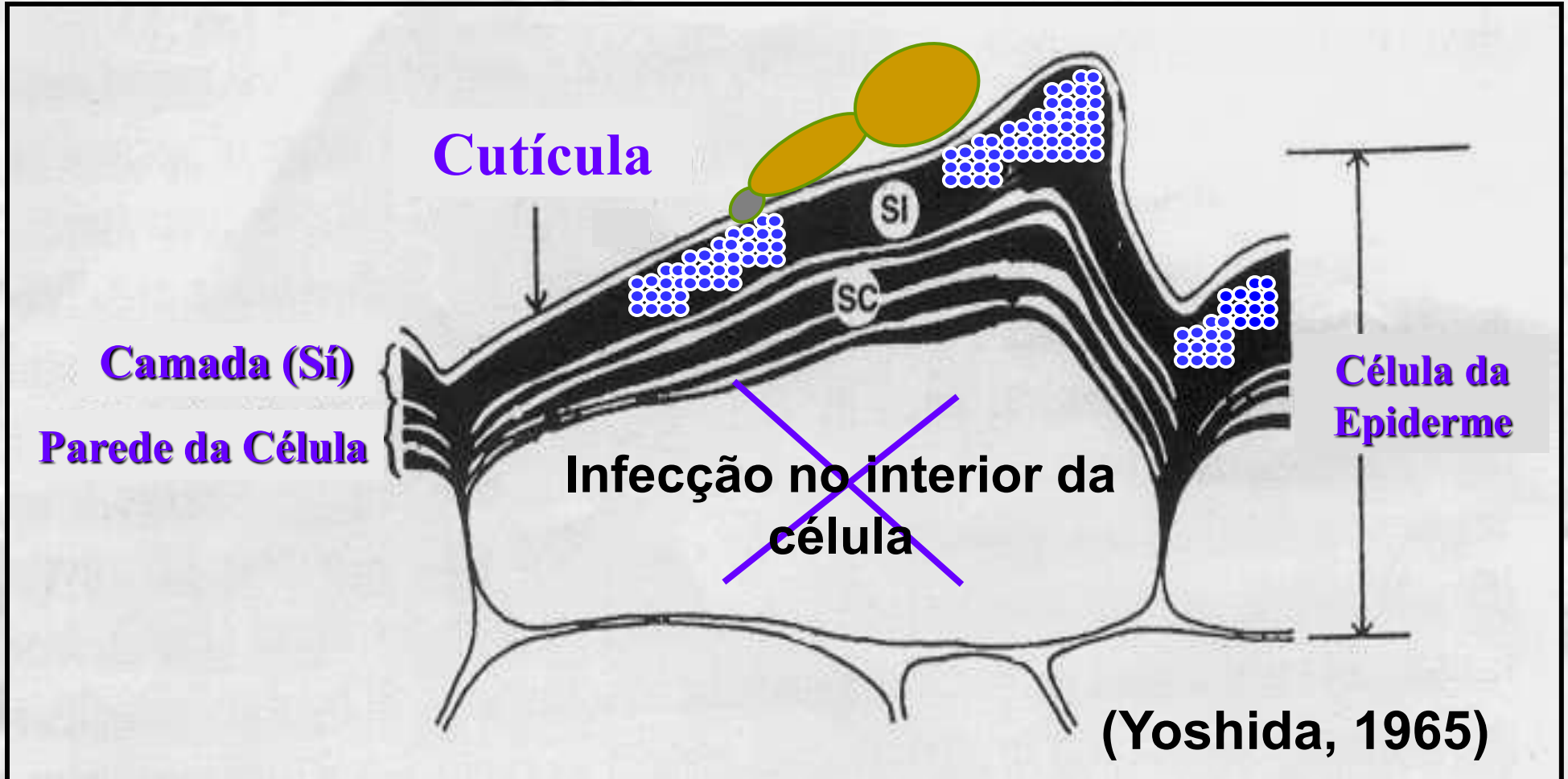


- ✓ **HIPÓTESE I** - Resistência mecânica da parede celular (Japão) – Pragas & Doenças
- ✓ **HIPÓTESE II** - Si induz à formação de FENÓIS (fitoalexinas) - Doenças

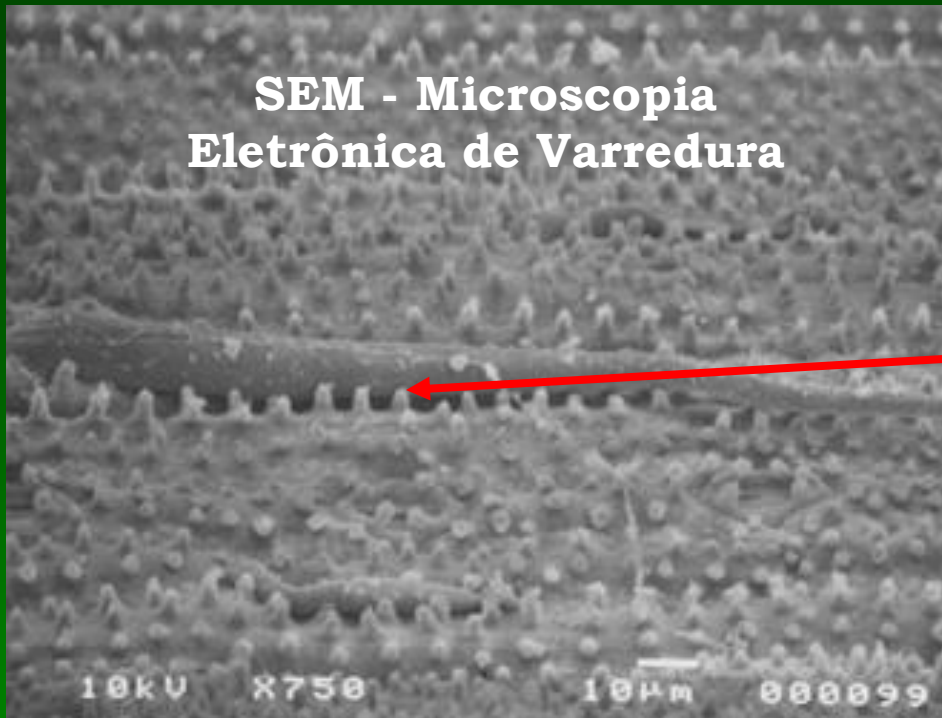


HIPÓTESE I - Barreira Mecânica

(Dupla Camada - Cutícula-sílica)

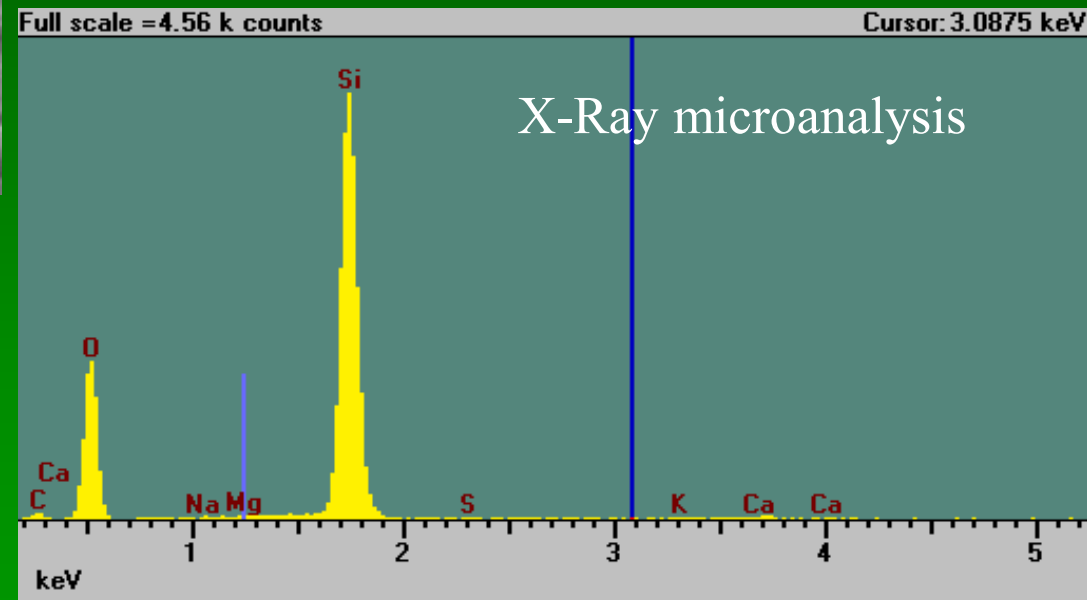


**SEM - Microscopia
Eletrônica de Varredura**

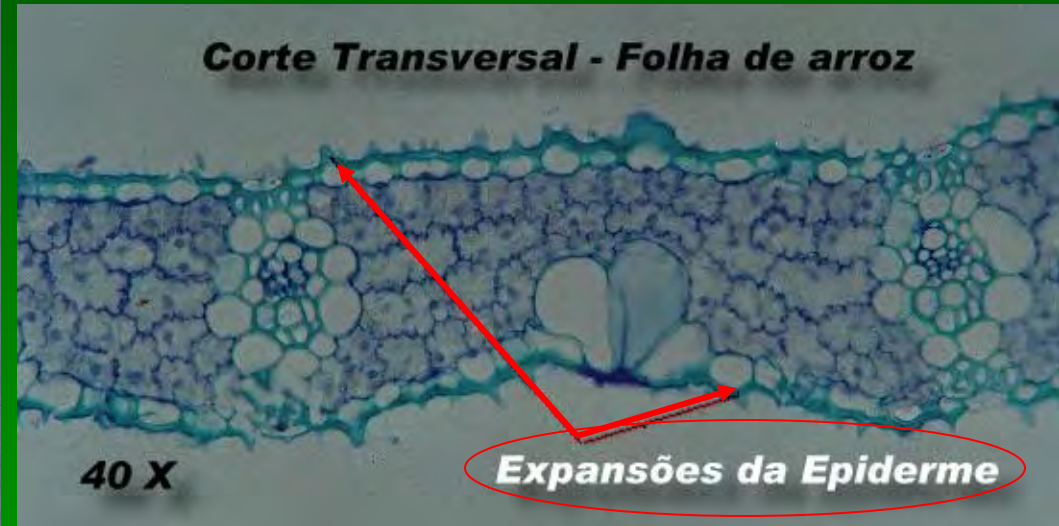


Acumulação de Si

**Superfície da
folha de arroz**



Acumulação Si - Arroz



Mauad et al. (2001)



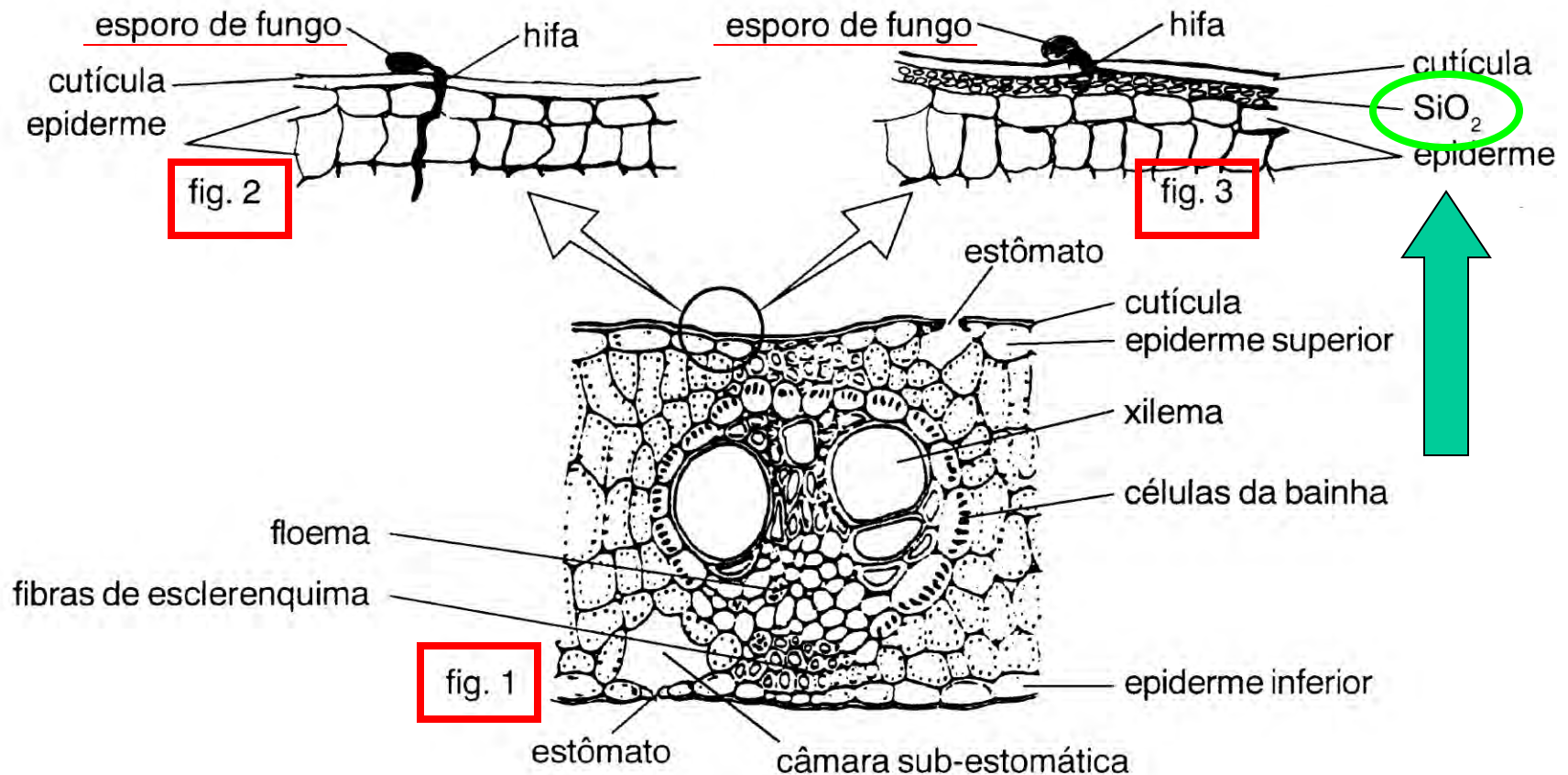
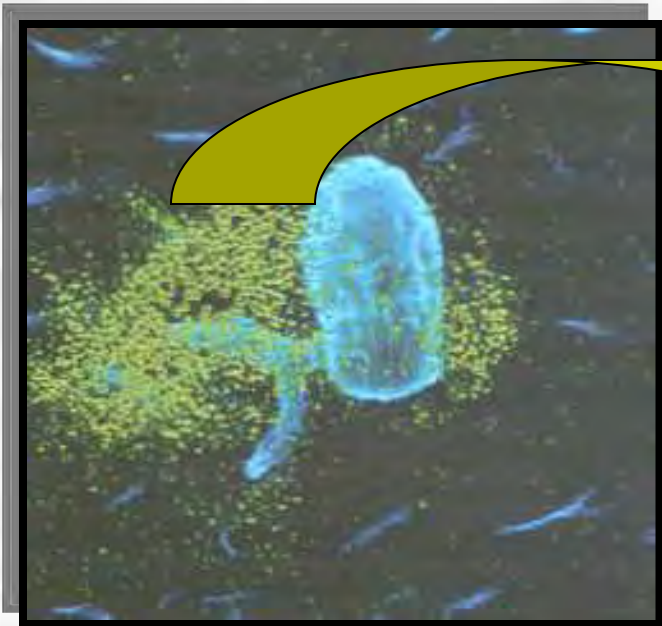


Fig. 1. Corte transversal do limbo foliar de monocotiledônea (Bidwell, RGS, 1974)
Fig. 2. Desenvolvimento de hifa de fungo em tecido foliar sem acúmulo de sílica.
Fig. 3. Camada de sílica abaixo da cutícula dificultando o desenvolvimento da hifa.



HIPÓTESE II

Pontos Verdes = Acumulação Si

**Locais de Tentativa de
Penetração do Fungo
(*Sphaerotheca fuliginea*)**

OBSERVAÇÕES:

- O efeito de proteção contra o fungo (oídio) foi perdido quando as plantas foram transferidas de uma solução com sílica (+Si) para outra solução sem sílica (-Si);
- A deposição do Si nas folhas não contribuiu para a redução da doença;
- Para que ocorra a resistência ao fungo é necessário que o Si esteja na forma solúvel no momento da infecção;
- Presença de compostos fenólicos associados à resistência à doença.

HIPÓTESE: Si promove a acumulação de FENÓIS (Fitoalexinas)

Controle de Doenças

PRINCIPAIS DOENÇAS DO ARROZ

- ✓ Bruzone da folha e panícula (*Pyricularia grisea*)
- ✓ Descoloração dos grãos (vários fungos: *Bipolaris*, *Phoma*, *Curcularia*, *Fusarium*, etc.);
- ✓ Escaldadura (*Microdochium oryzae*)
- ✓ Queima da bainha (*Rhizoctonia solani*) - arroz irrigado (TO)

Si x DESCOLORAÇÃO DOS GRÃOS

- ✓ Não existe no Brasil fungicida efetivo e economicamente viável para o controle da doença (Prabhu et al., 2000);
- ✓ O Si pode exercer efetivo controle da doença (Korndörfer et al., 1999; Corrêa-Vitória, 1994);
- ✓ Na África, a aplicação de 19 g de Si/m² dobrou a absorção de Si e reduziu a descoloração dos grãos do arroz de sequeiro cultivado em solos altamente intemperizados.



**Brown spot
Disease**



COM SILÍCIO



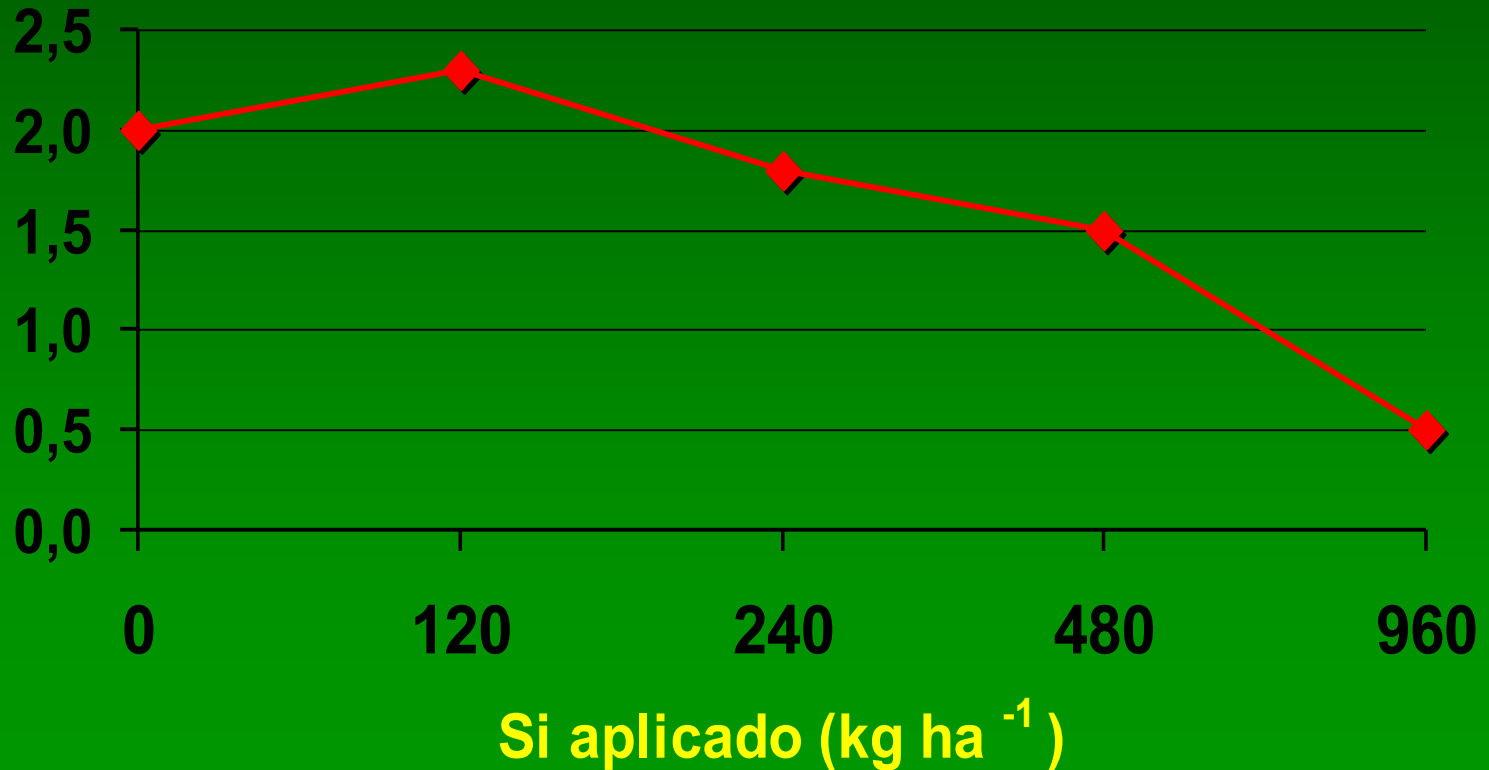
SEM SILÍCIO



Efeito do Si na Descoloração dos Grãos de Arroz (Sequeiro)



Intensidade do Sintoma



Korndörfer (2000)



BRUZONE – Problemas?

- ✓ **Introdução de variedades resistentes (Ex: Rio Formoso e EPAGRI 108 tiveram resistência quebrada em apenas 1 ano);**
- ✓ **Perda de produtividade pode variar de 300 a 3.000 kg/ha;**
- ✓ **Tendência de aumento no uso de adubos nitrogenados;**
- ✓ **Tocantins (Proj. Formoso - 70.000 ha), fungicidas representam 14% dos custos de produção;**

Si x BRUZONE

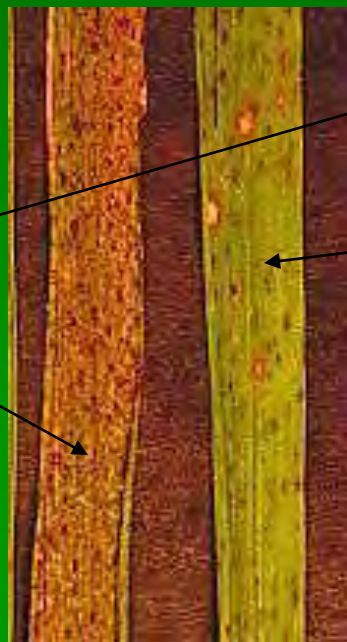
- ✓ Si induz resistência à bruzone (Prabhu et al., 2000);
- ✓ Incidência de bruzone pode ser reduzida em 30% com o uso de Si (Datnoff et al., 1991);
- ✓ Os fatores que reduzem o teor de Si na epiderme, tais como altas doses de N e sombreamento, aumentam a suscetibilidade à bruzone;
- ✓ O efeito do N na incidência da doença se dá pela diminuição na produção de compostos fenólicos e não devido à silicificação da epiderme (Fageria et al., 1991).

COLÔMBIA (Arroz – Si x Bruzone)



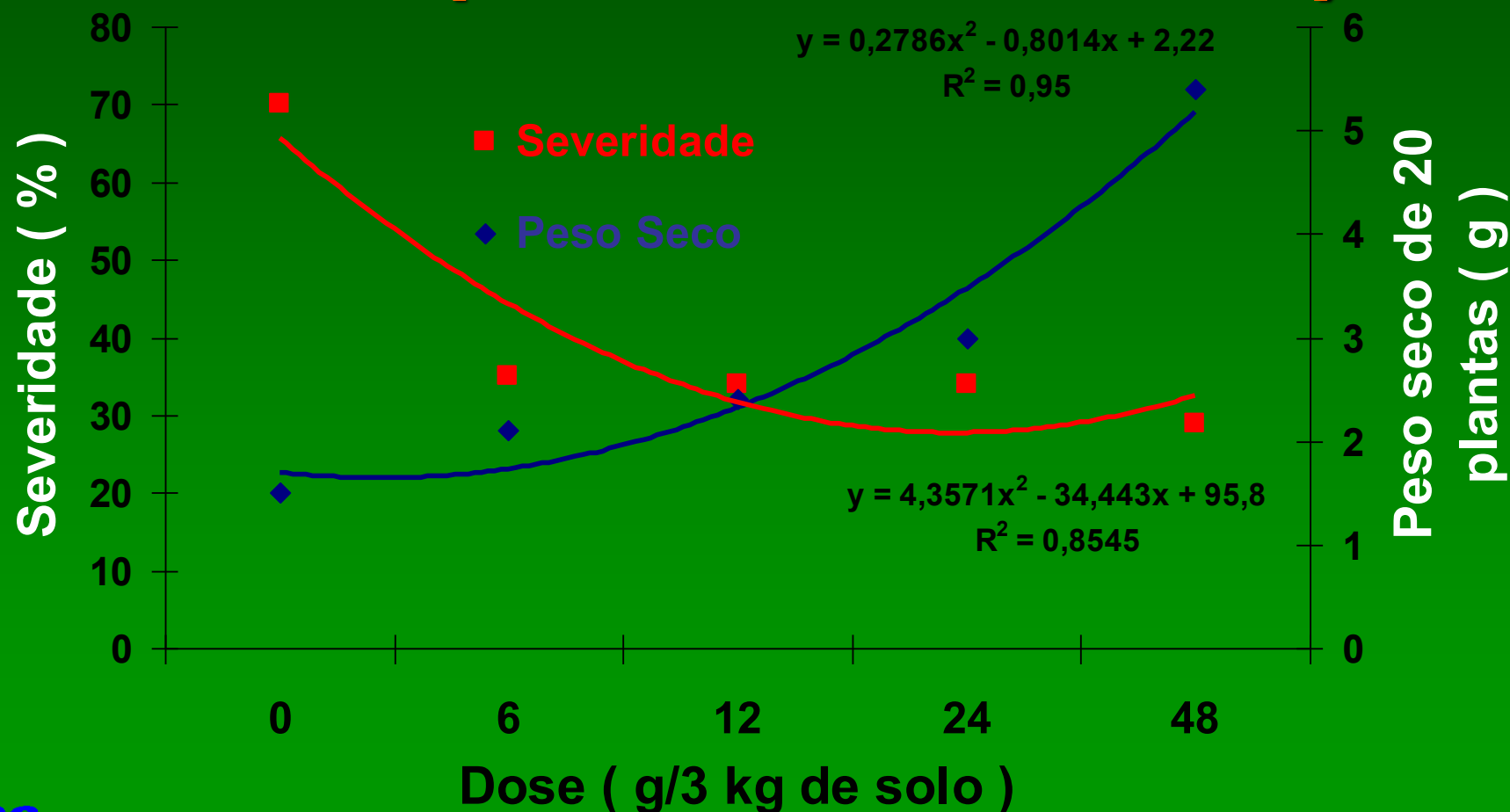
Sem Si

Com Si





SEVERIDADE da BRUSONE e PESO SECO (Wollastonita/Arroz)



Em pa

Prabhu et al. (2001)

Wollastonite



SEVERIDADE DA BRUSONE (ARROZ)

Doses crescentes de 0 a 48 g/3 kg de solo

48

24

12

6

0



+ Si

- Si

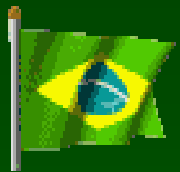
Formoso Araguaia/TO - Fev/2000

ARROZ INUNDADO

Formoso Araguaia/TO

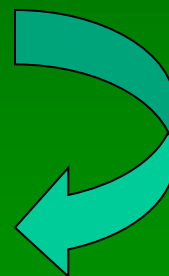
Fevereiro - 2000





Efeito de doses de Si na produção de arroz irrigado, cv. Javaé, no Projeto Formoso, Tocantins, safra 1999-2000

Doses de silicato	Severidade Mancha Parda	Severidade Bruzone nas folhas	Incidência Brusone nas panículas	Mancha dos grãos		Produção Grãos
				Incidência	Severidade	
kg ha ⁻¹	(nº. lesões folha bandeira)	notas (0 a 9)	40 panículas	100 grãos	notas (0 a 4)	kg ha ⁻¹
Testemunha	47,6 a	5,0 a	4,6 a	25,2 a	2,0 a	2.240 b
1.000	58,4 a	3,8 ab	4,2 a	23,6 a	2,0 a	2.490 b
2.000	67,8 a	3,7 ab	4,6 a	24,8 a	1,8 a	2.510 b
4.000	38,6 a	3,6 ab	4,8 a	23,2 a	1,8 a	3.090 a
6.000	30,0 a	3,0 b	4,0 a	23,6 a	1,4 a	3.290 a
C.V. - %	29	8	11	15	8	3



*Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Dados originais transformados em arc sen sqrt (x + 0,5)

Santos et al. (2001)

Si x QUEIMA DA BAINHA

(Rhizoctonia solane)

- ✓ Huber (1990) mostrou que a adubação com micronutrientes pode atrasar o aparecimento de sintomas da doenças;
- ✓ A redução do nível de inóculo e da quantidade de substrato (alimento) associada à disponibilidade de matéria orgânica e manejo da fertilidade estão entre os possíveis mecanismos de controle da doença;
- ✓ Rodrigues (1999) demonstrou que a severidade da queima da bainha pode ser drasticamente diminuída com o uso de Si.

Javaé



Queima da Bainha – *Rhizoctonia solane*

(Fonte: Tese de Mestrado – Rodrigues (2002))

Si

0 t/ha

2 t/ha

4 t/ha

6 t/ha

8 t/ha

Rio Formoso



Queima da Bainha – *Rhizoctonia solane*

(Fonte: Tese de Mestrado – Rodrigues (2002))

Si

0 t/ha

2 t/ha

4 t/ha

6 t/ha

8 t/ha

BR-Irga-409



Queima da Bainha – *Rhizoctonia solane*

(Fonte: Tese de Mestrado – Rodrigues (2002))

Si

0 t/ha

2 t/ha

4 t/ha

6 t/ha

8 t/ha

Grau de infecção de bruzone e concentração de SiO_2 nas folhas de arroz



N -Doses	Grau de infecção		SiO ₂ - Folhas		N - FOLHAS	
	C/Si	S/Si	C/Si	S/Si	C/Si	S/Si
kg/10a			-----g/kg -----			
0	2.6	6.4	94	65	23	23
3.6	1.7	9.5	92	45	21	24
7.2	2.6	16.7	79	39	24	24
10.8	5.0	19.3	78	33	22	27

Fonte: Takahashi (1996)

Rice (Everglades Agriculture Area)

Experiments (28 sites)	Si – Soil mg dm ⁻³	Si – Tissue g kg ⁻¹	Yield Inc. kg ha ⁻¹ (19 sites)	R.Y. %
C.F.- 715	85.0	39.0	---	98
Brida	19.0	16.0	1,002	74
New Farm - 12	14.0	17.0	960	81
Baker	9.0	29.0	683	86
Shawano	6.0	27.0	850	84
31ABE	8.0	22.6	1,163	76
18CDE	9.0	23.0	1,137	73
↓	↓	↓	↓	↓
C.F.48-EF-9N	5.3	21.8	679	91
S.F. 2-E-7	Md	24.2	1,062	79
S.F. 2-E-8	4.5	22.0	867	83
48CG32W	7.6	23.3	1,038	76
		AVERAGE INCREASE YIELD	1,007 kg ha ⁻¹	←



Korndörfer (2000)

Relationship between Si in the straw at harvest and Relative Yield for rice grown on Histosol

$$RY = 103.8 (1 - \text{EXP}^{-0.073x})$$
$$R^2 = 0.52^{**}$$

Low

(17)

Medium

High

(34)

Planta	Doença	Patógeno	Referências
Arroz	Bruzone	<i>Piricularia oryzae</i>	Datnoff et al., 1991
Arroz	Mancha parda	<i>Helminthosporium or..</i>	Hegazi et al., 1993
Arroz	Descoloração do grão	<i>BipolarisFusarium, etc</i>	Korndörfer et al., 1999
Cana	Freckling	---	Fox et al., 1967
Cana	Ferrugem	<i>Puccinia melanocep..</i>	Dean & Todd, 1979
Cana	Mancha Anelar	<i>Leptosphaeria sacchari</i>	Raid et al., 1991
Cevada	Oídio-Powdery mildew	<i>Erysiphe graminis</i>	Jiang et al., 1989
Morango	Oídio-Powdery mildew	<i>Erysiphe cichoracear..</i>	Menzies et al., 1991
Pepino	Oídio-Powdery mildew	<i>Sphaerotheca f.</i>	Belanger et al. 1995
Tomate	Fungos	<i>Sphaerotheca fuliginea</i>	Adatia & Besford, 1986
Trigo	Oídio-Powdery mildew	<i>Septoria nodorum</i>	Leusch Buschenaner, 1989
Videira	Oídio-Powdery mildew	<i>Oidium tuckeri</i>	Grunnofer, 1994



DOENÇAS CONTROLADAS COM Si



Severidade da Mancha Anelar (Cana)

VARIEDADES	Dose Silicato	Si - Folha	Mancha Anelar (Ring Spot) Severidade	
			Folha 4	Folha 5
	t ha ⁻¹	%	%	%
CP72-1210	0	0.28	23.4	45.8
	6.7	0.67 ↓	7.3	17.8 ↓
CP74-2005	0	0.29	8.5	23.0
	6.7	0.59 ↓	3.1	7.6 ↓
CP80-1827	0	0.29	5.2	9.0
	6.7	0.55 ↓	1.7	3.1 ↓
CP70-1133	0	0.28	10.5	23.8
	6.7	0.54 ↓	4.2	11.0 ↓
CP72-2086	0	0.25	4.1	11.5
	6.7	0.73 ↓	0.9	2.0 ↓

Si reduz mortalidade das plantas de pepino causada por *Pythium ultimum* (??)



Effect of Ca and K silicate on yield of field-grown cucumber plants, incidence of *Fusarium* wilt disease

Treatment	Soluble Si ^a	Fruit yield ^b	Wilted Plants ^c	Leaves	Stems	Available Si-soil ^d
	kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹	%	----- Si % -----		mg/100g
Ca-Si	327	143	20	1.3	0.5	44
Ca-Si	654	135	15	1.5	0.4	78
K-Si	327	139	11	1.3	0.4	54
K-Si	654	155	0	1.9	0.4	116
Control 1	0	121	37	0.7	0.2	20
Control 2	0	121	62	1.0	0.2	22

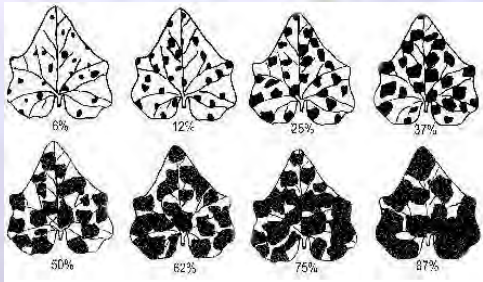


MIYAKE & TAKAHASHI (1983)

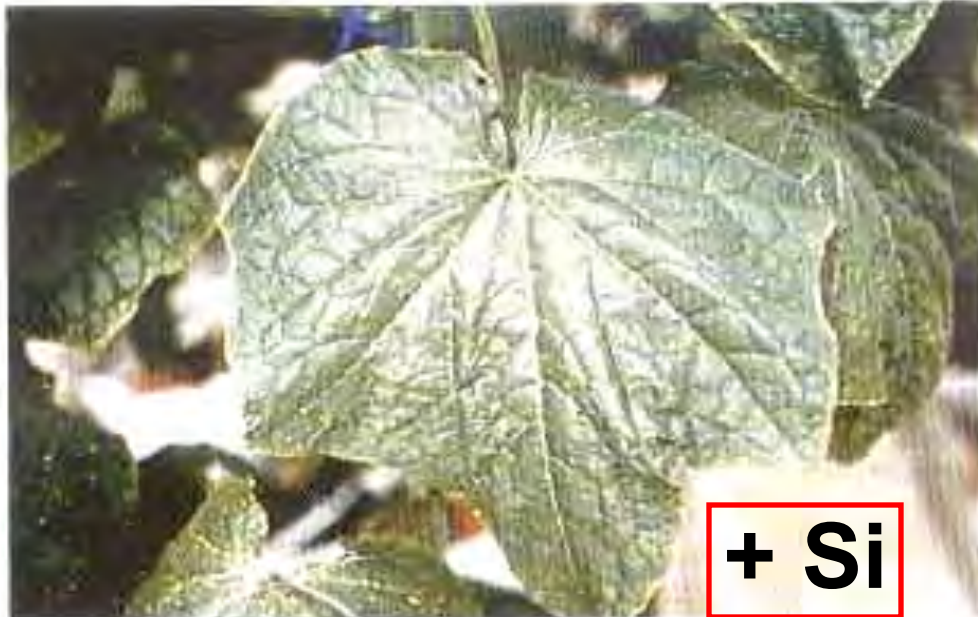
EFEITO DO SI NA INCIDÊNCIA DO OÍDIO NAS FOLHAS DO PEPINO

(0 = sem colônias; 10 = completamente coberto de colônias)



Experimento	Oídio (powdery mildew) Índice de Leitura		Observações
	- Si	+ Si	
1	não observado		 sem fungicida
2	não observado		
3	6	4	
4	7	5	
5	5	5	
6	10	4	

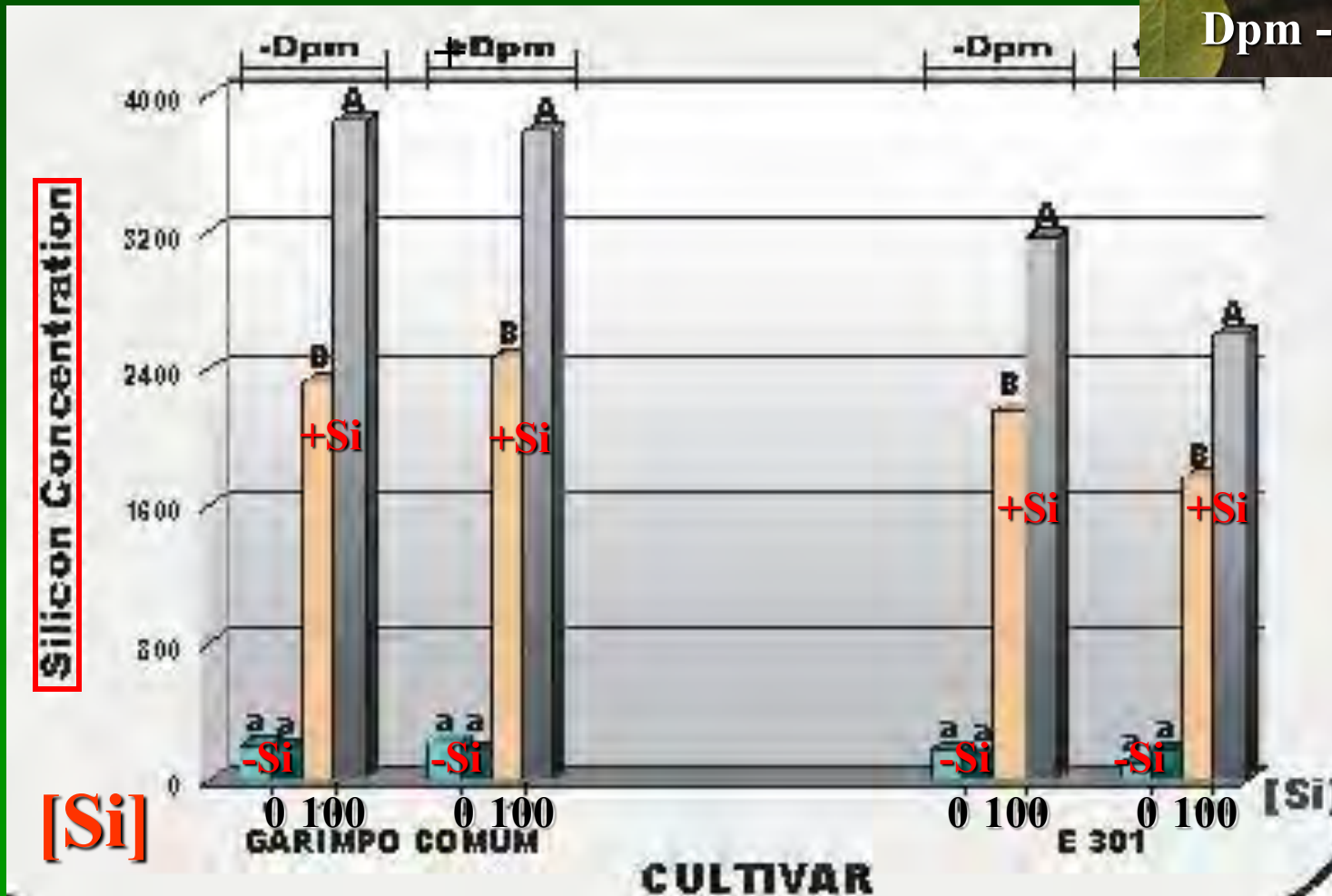
Fonte: Menzies et al. (1991), Belanger (1995)



**Si reduz a área
foliar do
pepineiro
coberta com
colônias de
Oídio**

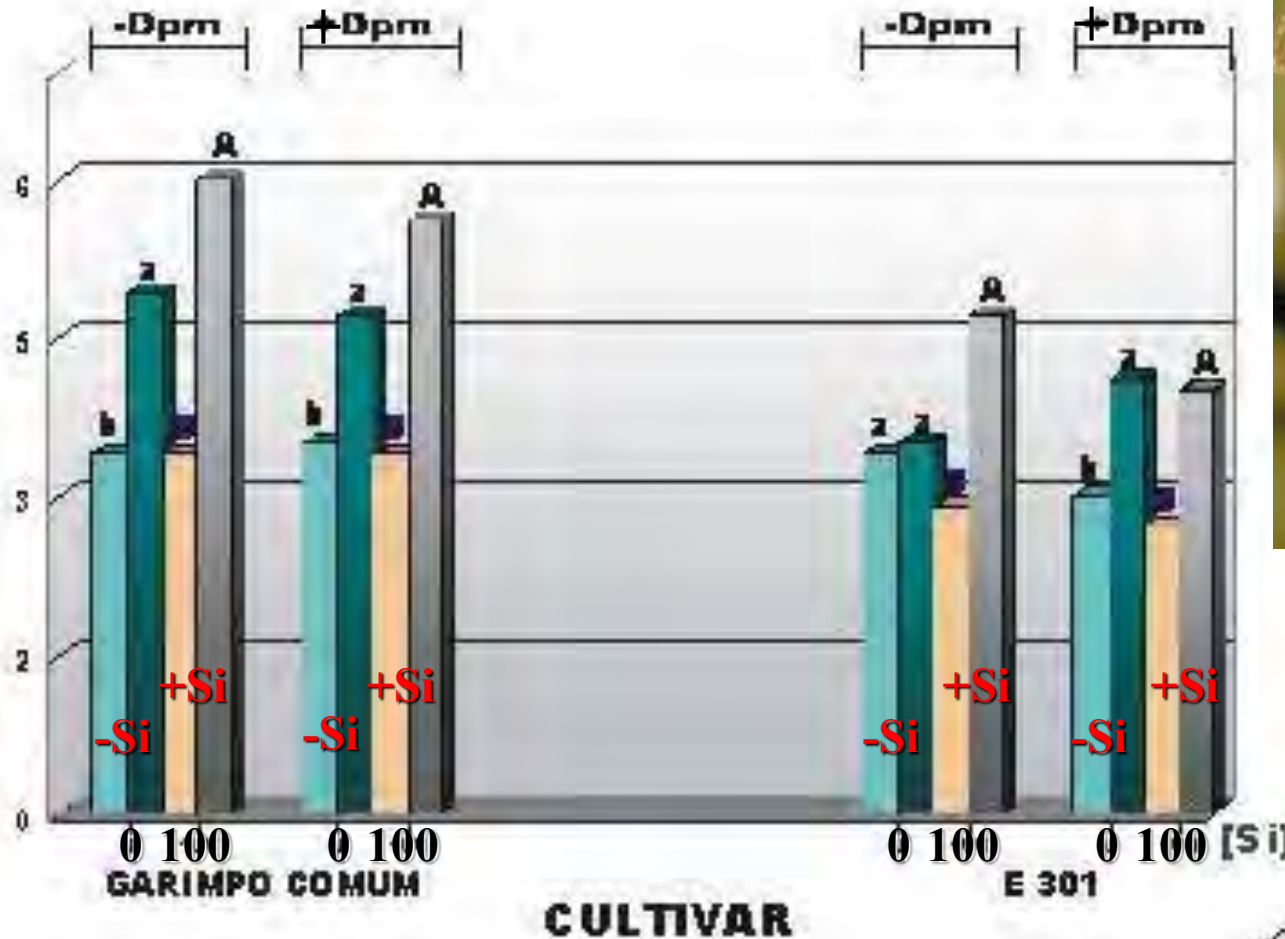


Teor de Si nas Folhas de Soja (hidroponia)



Biomassa x Si x Cancro da Haste

Plant Biomass (g/plant)



Dpm - *Diaporthe phaseolorum*

Controle de Pragas

PRAGAS CONTROLADAS COM Si

Planta	Praga	Inseto	Referências
Arroz	Lagarta do Colmo	<i>Chilo suppressalis</i>	Yoshida et al., 1969
Arroz	Gafanhoto verde	<i>Nephotettix noctatus</i>	Maxwell et al., 1972
Azevém	Broca do colmo	<i>Oscinella frut</i>	Moore, 1984
Cana	Broca da cana	<i>Diatraea saccharalis</i>	Elawad et al., 1985
Sorgo	Pulgão-verde	<i>Schizaphis graminum</i>	Carvalho, 1998
Sorgo	"root striga"	<i>Scrophu lariaceae</i>	Hodson & Sangster, 1989

INFLUÊNCIA DO SI NA RESISTÊNCIA DAS PLANTAS À BROCA DA CANA-DE- AÇÚCAR (*DIATRAEA SACCHARALIS* F.)

Na₂SiO₃	Nº plantas atacadas	% do Total	Peso Matéria Seca	Si Folhas
g/vaso (40L)		%	g/planta	%
0	44	73	450 c	0,29
68	12	20	482 b	1,39
136	4	7	505 a	2,39

Fonte: Adaptada de Elawad (1995)

Número de ninfas do pulgão *Schizaphis graminum* em folhas de sorgo



Genótipo	Número Total Ninfas		Média ¹
	C/ Si	S/ Si	
BR 303	188,3	243,6	215,9 a
TX 2567	54,7	195,1	124,9 b
Média ¹	121,5 B	219,3 A	

Carvalho, 1998 (Tese Mestrado-Lavras)



Efeito da aplicação de Si na resistência da cana-de-açúcar ao ataque da broca do colmo *Eldana saccharina* (África do Sul)

Silicato de cálcio (t ha ⁻¹)	Peso Médio dos Colmos (g)	Comp. dos danos (cm)	Número entrenós brocados	Número Total brocas	Peso Total brocas (g)
Testemunha	1035	114	112	110	115
2,5	1203	100	100	98	93
5,0	1220	87	88	92	92

Fonte: Keeping & Meyer (1999)



CUPIM

NEMATÓIDE



©GREG TYLKA



CIGARRINHA



2

DPI



PULGÃO

Productividad

Efeito Residual da aplicação de silicato e de calcário incorporado a 60 cm

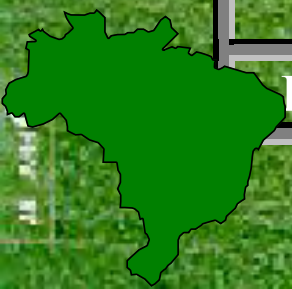
Corte	Testemunha	Calcário	Silicato
	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹
Cana Planta	116	123	133**
1ª Soca	97	113	128**
2ª Soca	47	69**	72**
3ª Soca	97	115*	114*
4ª Soca	46	60*	59*
Média	81	96	101

Meyer (2001)

Efeito do Silicato de Ca sobre a produtividade da cana-de-açúcar

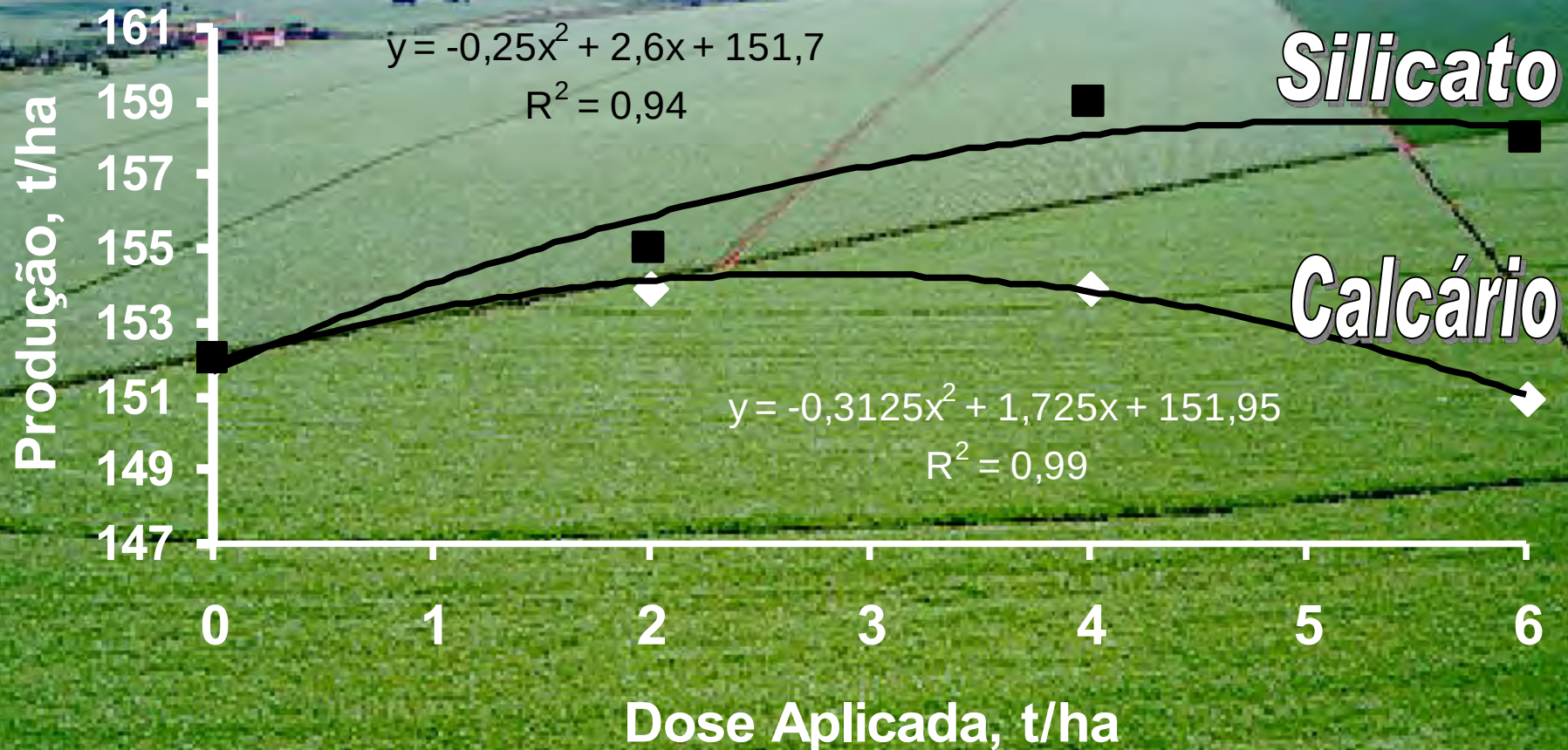
Dose de Silicato de cálcio	Usina EQUIPAV			
	Fazenda Barreiro (SP80-1842)		Fazenda S.Clara (RB72-454)	
	C.Planta	Soca	C.Planta	Soca
kg ha ⁻¹	----- t ha ⁻¹ -----			
0	145	117	113	93
700	153	118	125	105
1.400	154	125	127	98
2.800	163	127	132	107
5.600	161	130	131	112
Diferenças (%)	12	11	17	20

Korndörfer et al. (2001)



Produtividade média de 4 experimentos

Usinas: São Luiz, São Martinho, Catanduva e Santa Adélia (Cana Planta – Safra 2001)



Sino Solo

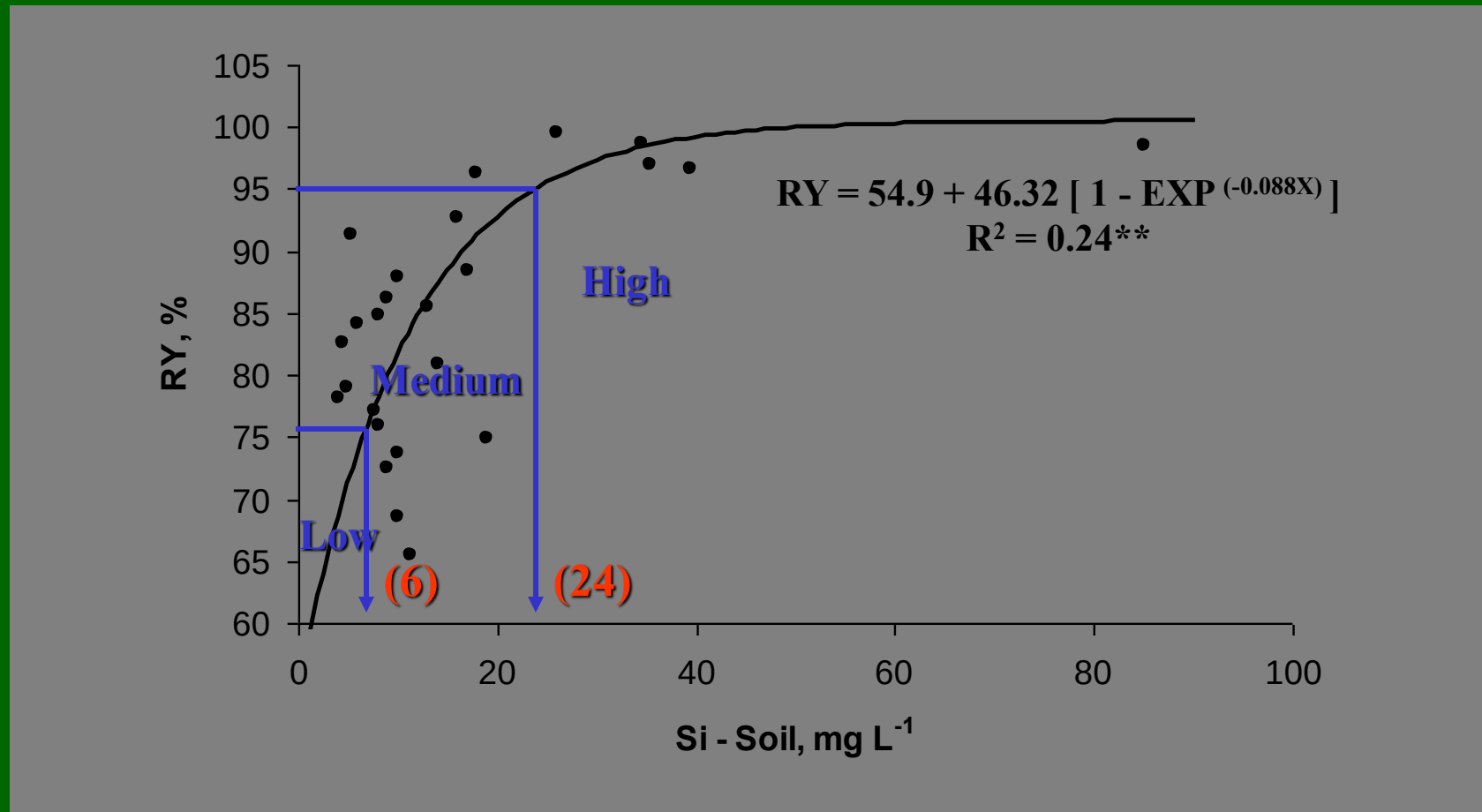
Efeitos do Silicato no Solo

- Aumento do pH
(substituição ao calcário)
- Aumento na disponibilidade de Ca
- Aumento na disponibilidade de P

- Reduz o efeito tóxico de Fe, Mn e Al
- Efeito residual
- Aumenta a saturação por bases

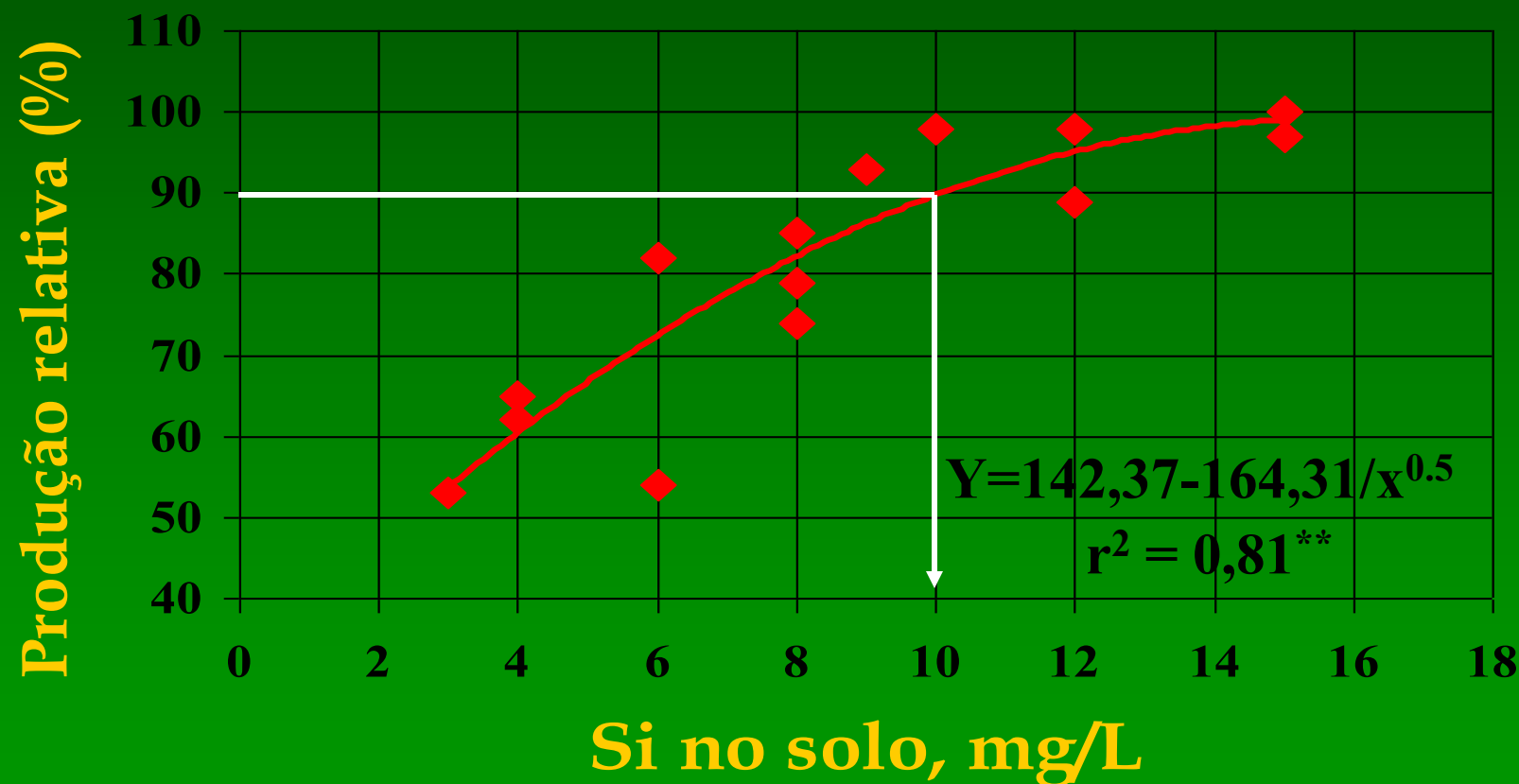


Calibration of soil test Si to relative yield (RY) for rice grown in the EAA (Histosol)



KORNDÖRFER et al. (2001)

Si - Calibração da análise do solo (Arroz Sequeiro)



Fontes de SI

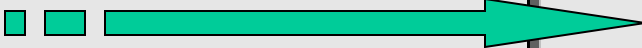
Principais Fontes de Si no Brasil

- ✓ Termofosfatos Magnesianos (Yoorin)
- ✓ Silicatos de Ca e Mg
- ✓ Casca de arroz (crua queimada/carbonizada)
- ✓ Escórias de siderurgia (LD e Alto forno)
- ✓ Escórias de P elementar
- ✓ Silicato de potássio
- ✓ Bagaço de cana
- ✓ Cimento
- ✓ Sílica gel
- ✓ Wollastonita (CaSiO_3)





Solubilidade de fontes Si

AMOSTRA	Lixiv. 24h* mg. SiO ₂	Lixiv. 48h mg. SiO ₂
Wollastonita	45,0	39,5
CaSi Corp. - USA	46,5	36,0
RECMIX - BR/USA 	75,0	45,0
Wollastonita	42,6	35,0
Aciaria (Aços Finos Piratini) - BR	8,5	6,0
Albright Wilson (Rhodia) - USA	40,7	30,9
Wollastonita	44,0	38,9
AF-Alto Forno (Silifertil, 42% SiO ₂) - BR	17,9	8,7
LD-Aço - Fe Gusa (Silifertil, 20% SiO ₂) - BR	46,3	21,8
MB-4 (47,9% SiO ₂) - BR	4,1	2,1
Wollastonita	46,7	40,6
Talco Friável 01	4,6	2,8
Anfibolito Friável 02	5,1	2,9

* 10 g da fonte de Si + 1g polietileno. Lixiviado com Tampão Tris (pH 7,0) usando bomba peristáltica por 56 horas

Efeito de fontes de Si sobre a produção de arroz irrigado, cv. Javaé, no Projeto Formoso, Tocantins, safra 1999-2000

Fontes de Si	Severidade mancha-parda*	Severidade brusone folhas (notas 0-9)	Incidência brusone panículas (40 pani.)	Mancha dos grãos		Produtividade (kg ha ⁻¹)
				Incidência (100 gr)	Severidade (notas 0-4)	
Testemunha	36,2 a	5,4 a	3,4 ab	26,0 a	2,2 a	2.230 b
A&W(EUA)	37,2 a	2,0 b	1,3 b	13,2 b	1,2 a	4.110 a
MB4	36,8 a	4,2 ab	2,3 ab	22,4 ab	2,2 a	1.890 b
Silifértil	40,2 a	3,5 ab	1,8 ab	22,2 ab	1,8 a	2.520 b
SAMA	36,9 a	4,6 a	2,2 ab	22,0 ab	1,8 a	2.180 b
Talco friáv.	45,2 a	5,0 a	4,2 a	19,2 ab	2,0 a	1.810 b
Anfibolito	31,4 a	5,8 a	3,6 a	22,4 ab	2,2 a	1.940 b
C. V. (%)	20,1	12,7	18,6	16,6	11,4	11,2

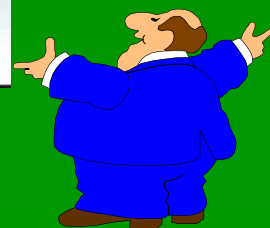
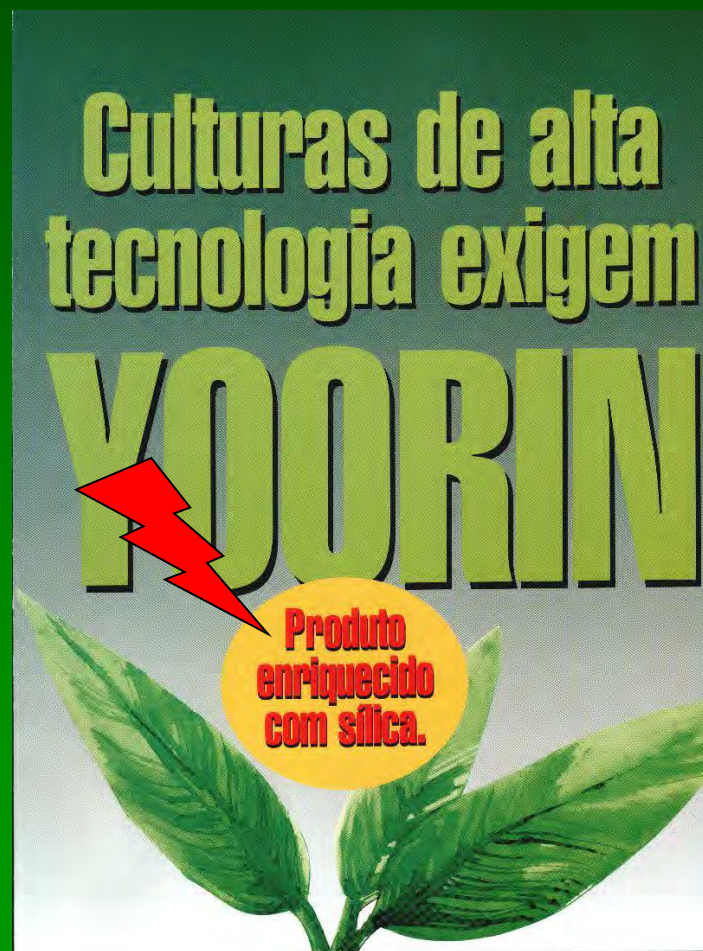
*Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Dados originais transformados em arc sen sqrt (x + 0,5)

* (nº lesões folha bandeira)

TERMOFOSFATO YOORIN

- ✓ 18% P_2O_5 total;
- ✓ 16,5% P_2O_5 sol. ácido cítrico;
- ✓ 9% Mg;
- ✓ 20% Ca;
- ✓ **23% SiO_2** total;
- ✓ **22% SiO_2** sol. ácido cítrico.



Efeito de Fontes de Si no Solo e na Planta (Arroz)



FONTES	Dose - Si	Si -Planta	Solo			
			pH	Si	P	Ca
	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	(H ₂ O)	mg kg ⁻¹		cm _c dm ⁻³
Testemunha	0	11c	4,6c	5c	20d	1,8b
Tennessee Slag	500	14b	5,4b	53b	46b	4,4a
Wollastonita	500	22a	5,7ab	58b	34c	4,4a
Minas Liga	500	15b	5,8ab	8c	37c	2,1b
Silicato Mg	500	7d	4,8c	9c	37c	1,9b
Termo Yoorin	500	20a	6,2a	107a	345a	4,5a

Adaptado de Korndörfer & Gascho, 1999



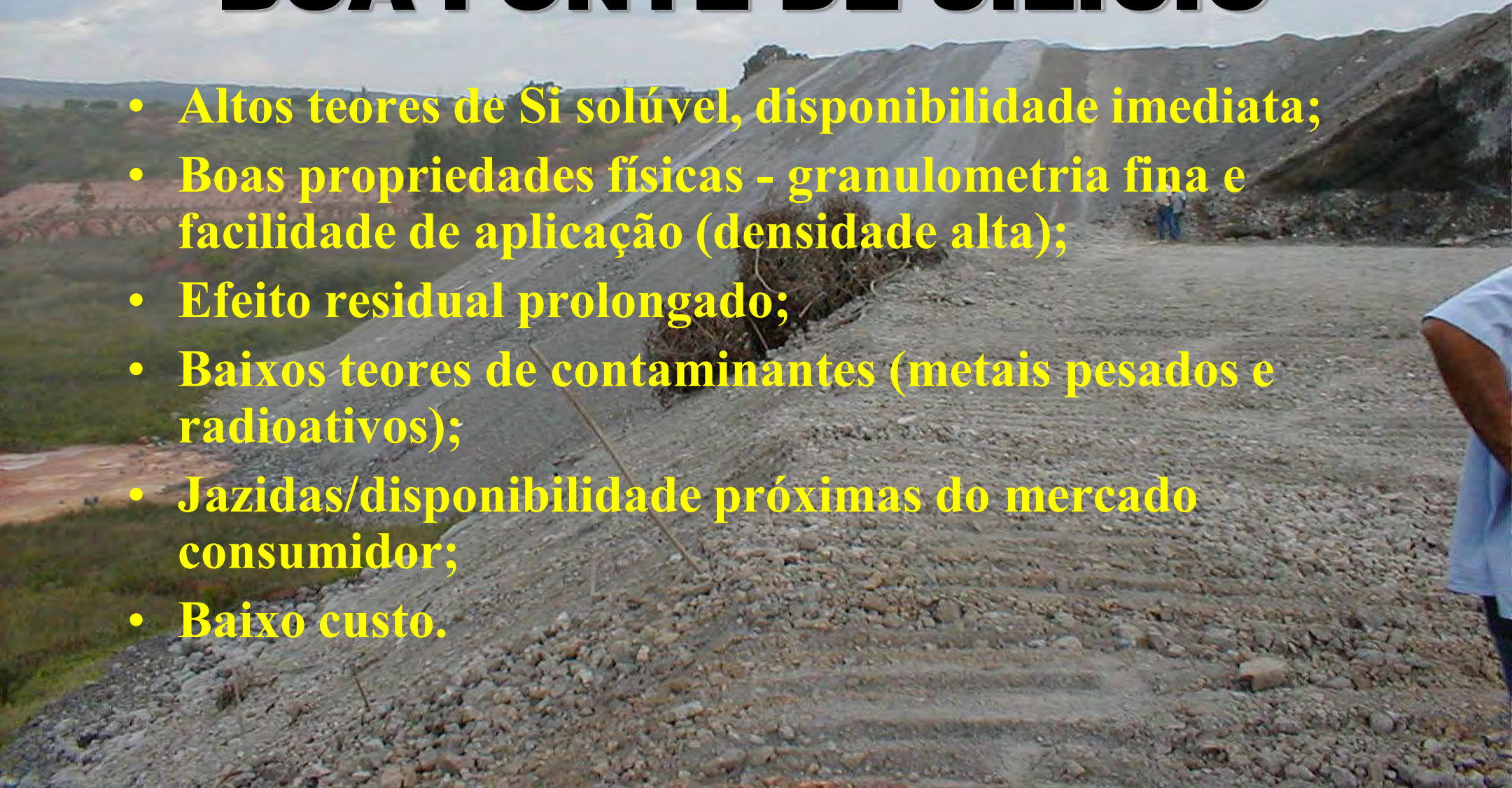
Características químicas dos solos determinadas após o período de incubação do silicato de cálcio (Latossolo Vermelho Amarelo álico)

Wollastonita	Calcário	pH CaCl ₂	pH água	Al	Ca	SB	V	m
----- t ha ⁻¹ -----				--- cmol _c /dm ³ ---			-----% -----	
0	8,93	5,7	6,5	0,0	5,6	6,97	87,5	0,0
2	6,70	6,0	6,6	0,0	5,5	6,57	95,6	0,0
4	4,50	6,0	6,5	0,0	5,5	6,46	83,2	0,0
6	2,23	6,0	6,5	0,0	5,5	6,05	85,8	0,0
8	0,00	6,1	6,5	0,0	5,8	5,85	85,4	0,0

Fonte: Oliveira (2000)

CARACTERÍSTICAS DE UMA BOA FONTE DE SILÍCIO

- Altos teores de Si solúvel, disponibilidade imediata;
- Boas propriedades físicas - granulometria fina e facilidade de aplicação (densidade alta);
- Efeito residual prolongado;
- Baixos teores de contaminantes (metais pesados e radioativos);
- Jazidas/disponibilidade próximas do mercado consumidor;
- Baixo custo.



Endereços na Internet

- **Adubos & Adubação:** www.dpv24.iciag.ufu.br/
- **Grupo de Pesquisa “Silício na Agricultura”:**
www.dpv24.iciag.ufu.br/Silicio/silicio.htm

- **Livro - Silício na Agricultura:**
Número páginas: 424; Preço: US\$ 159
Endereço:
www.elsevier.com/inca/publications/store/6/2/1/9/6/3

• {ghk@triang.com.br}

