

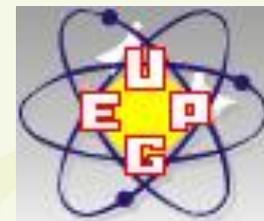
IX Simpósio Regional • IPNI Brasil

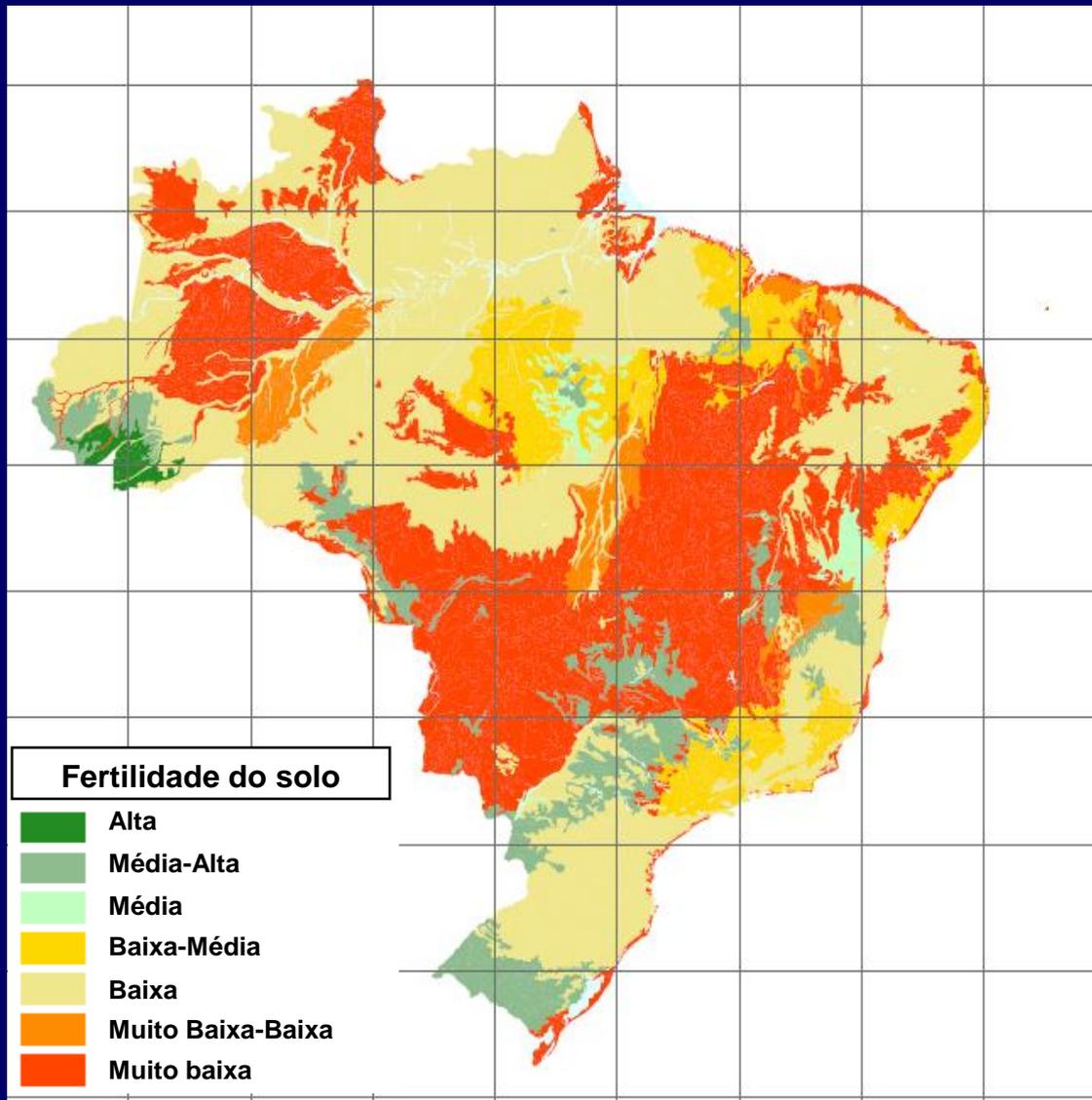
## BOAS PRÁTICAS PARA USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES

Paragominas - PA • 30 e 31 DE AGOSTO/2016

# Manejo da Acidez do Solo como Fundamento para BPUFs

*Eduardo Fávero Caires*  
*Universidade Estadual de Ponta Grossa*





**Solos com Fertilidade Baixa ou Muito Baixa**

**Acidez Excessiva  
Deficiência de P**

**Avanço da Agricultura  
Cerrado**

**Área cultivada – grãos  
58 milhões ha  
210 milhões ton grãos**

**Sistema Plantio Direto  
60% da área de grãos**

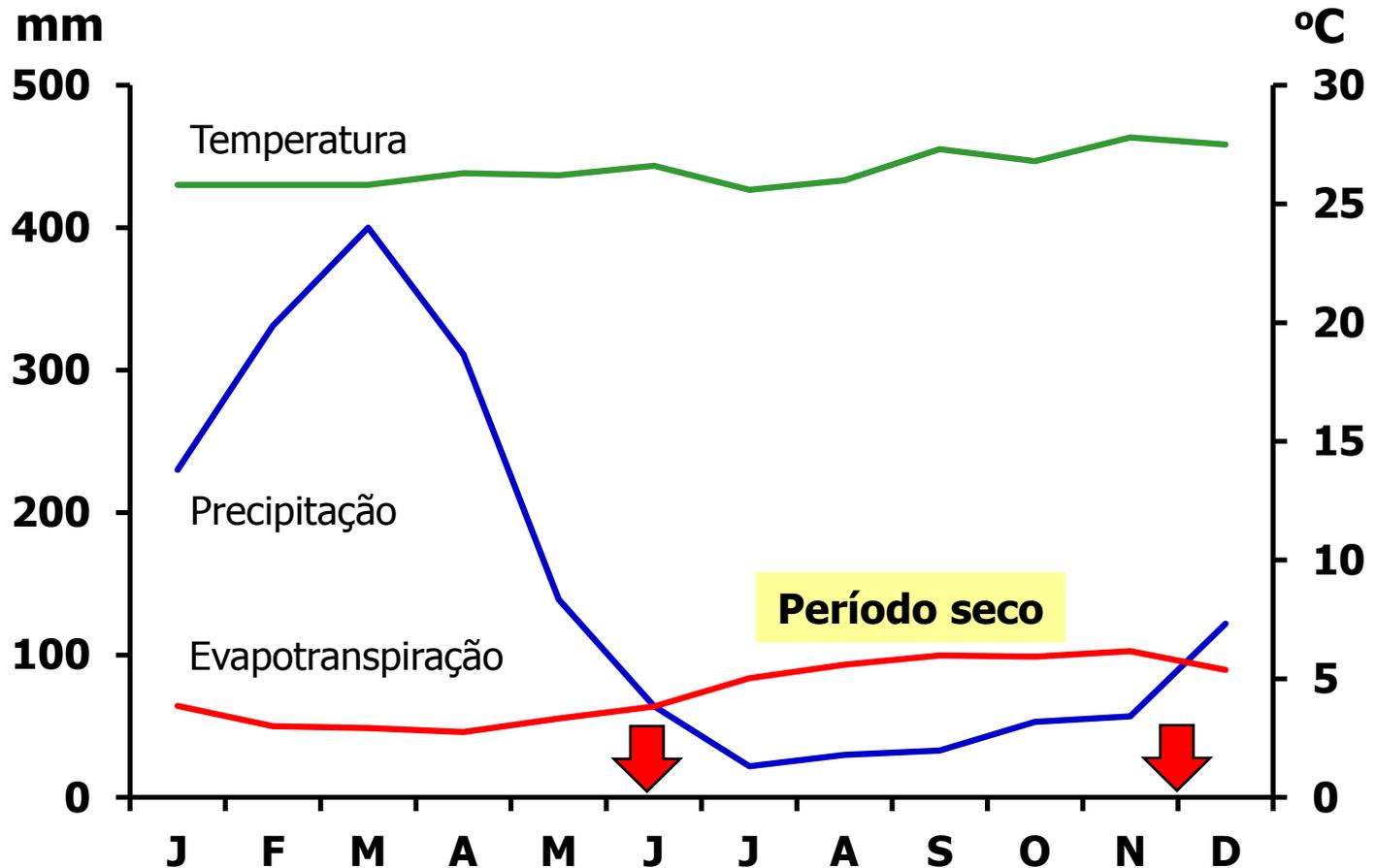
**Maior sustentabilidade da agricultura em regiões tropicais e subtropicais**

**Mapa de fertilidade dos solos do Brasil**

FONTE: Embrapa (1980)

# PARAGOMINAS – PA: Distribuição de chuvas não uniforme

Evolução da temperatura média do ar, precipitação pluvial e evapotranspiração do município de Paragominas (PA)



FONTE: Embrapa (2003)

# PARAGOMINAS – PA: Solos de Fertilidade Muito Baixa

## LATOSSOLO AMARELO textura média

Horiz.	Prof.	Argila	C-org.	CTC pH 7,0	CTCe	pH (H <sub>2</sub> O)	V	m	P
	cm	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	-- cmolc kg <sup>-1</sup> --			----- % -----		mg kg <sup>-1</sup>
A	0-5	160	15,8	8,6	4,1	<b>5,4</b>	<b>48</b>	<b>0</b>	<b>2</b>
AB	5-17	230	8,2	4,6	2,0	<b>4,9</b>	<b>37</b>	<b>15</b>	<b>1</b>
BA	17-36	250	6,0	4,2	1,6	<b>4,8</b>	<b>30</b>	<b>18</b>	<b>1</b>
Bw1	36-65	270	4,0	3,4	1,5	<b>4,7</b>	<b>29</b>	<b>33</b>	<b>1</b>
Bw2	65-96	280	2,2	2,6	1,4	<b>4,5</b>	<b>23</b>	<b>57</b>	<b>1</b>
Bw3	96-140	290	1,4	2,4	1,4	<b>4,4</b>	<b>25</b>	<b>57</b>	<b>1</b>
Bw4	140-200	290	1,4	2,0	1,2	<b>4,5</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>1</b>

FONTE: Embrapa (2003)

# PARAGOMINAS – PA: Solos de Fertilidade Muito Baixa

## LATOSSOLO AMARELO textura muito argilosa

Horiz.	Prof.	Argila	C-org.	CTC pH 7,0	CTCe	pH (H <sub>2</sub> O)	V	m	P
	cm	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	-- cmolc kg <sup>-1</sup> --			----- % -----		mg kg <sup>-1</sup>
A	0-6	740	30,3	14,1	6,6	<b>4,3</b>	<b>44</b>	<b>6</b>	<b>1</b>
AB	6-13	820	14,4	7,7	2,9	<b>4,0</b>	<b>22</b>	<b>41</b>	<b>1</b>
BA	13-27	840	10,8	6,1	2,4	<b>4,0</b>	<b>19</b>	<b>50</b>	<b>1</b>
Bw1	27-54	890	7,4	4,9	1,7	<b>4,0</b>	<b>18</b>	<b>47</b>	<b>1</b>
Bw2	54-102	890	4,0	3,4	0,9	<b>4,2</b>	<b>9</b>	<b>33</b>	<b>1</b>
Bw3	102-158	870	2,8	3,2	0,7	<b>4,2</b>	<b>9</b>	<b>43</b>	<b>1</b>
Bw4	158-235	780	2,5	2,9	0,7	<b>4,3</b>	<b>10</b>	<b>43</b>	<b>1</b>

FONTE: Embrapa (2003)

# Crescimento de Raízes

Clima

Planta

Solo

Água

Acidez

Deficiência Hídrica

+

Deficiência de Cálcio  
Excesso de Alumínio

**COMPROMETE SEVERAMENTE O CRESCIMENTO DAS RAÍZES**

# A Acidez do Solo e o Crescimento do Sistema Radicular das Plantas



AS RAÍZES NÃO SE DESENVOLVEM BEM EM SOLOS ÁCIDOS

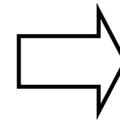
## **Falta de Ca**

Severas restrições ao crescimento radicular

## **Excesso de Al**

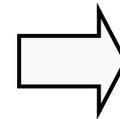
As raízes se tornam mais lentas em alongar, engrossam e não se ramificam normalmente. Prejudica a absorção de N, P, Ca e Mg pelas plantas

**Comprimento do Sistema Radicular**



**IMPORTANTE**

**Distribuição do Sistema Radicular**



**FUNDAMENTAL**

# Correção do Perfil do Solo para o Adequado Crescimento Radicular

## CALAGEM



**Melhoria das condições químicas nas camadas superficiais do solo**

Antes da Adoção do Sistema Plantio Direto

Incorporação Mecânica do Corretivo na Camada Arável

Sistema Plantio Direto Estabelecido

Aplicação Superficial do Corretivo sem Incorporação

## GESSO



**Melhoria das condições químicas nas camadas do subsolo**

Redução da toxicidade por Al  
Aumento do teor de Ca

# A Correção da Acidez do Solo

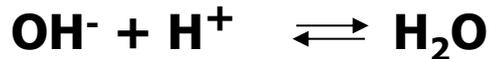


**Corretivos da acidez mais usados  
na agricultura**

**Rochas calcárias moídas**

**Minerais: calcita e dolomita**

**$\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$**



**Neutralização da acidez**

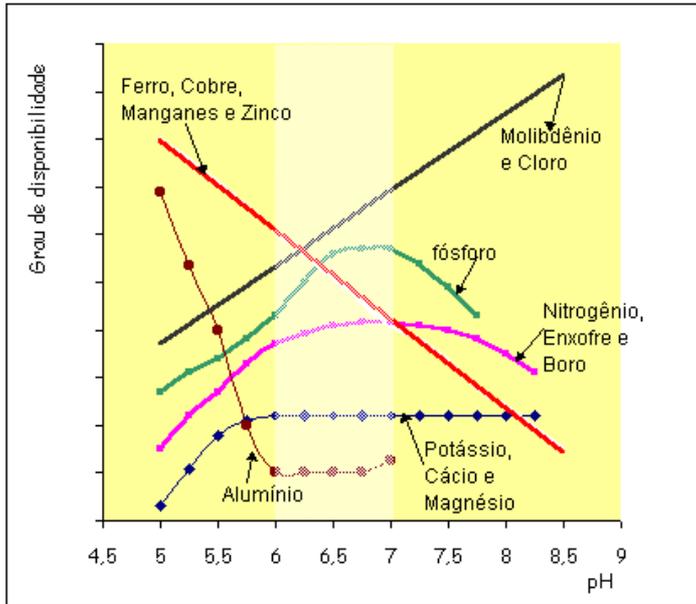
**Conteúdo de neutralizantes – PN**

**Granulometria – RE**

$$\text{PRNT (\%)} = \frac{\text{PN} \times \text{RE}}{100}$$

**PN – PRNT = PN de ação  
mais lenta**

# A Calagem e a Eficiência do Uso de Nutrientes pelas Plantas



A REDUÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO COM A CALAGEM:

**Favorece o crescimento das raízes**

**Estimula a atividade microbiana**

**Promove insolubilização**

Al e Mn

**Aumenta a disponibilidade**

N, P, Ca, Mg, S e Mo

**CALAGEM – PRÁTICA QUE MAIS AUMENTA A EFICIÊNCIA DO USO DE FERTILIZANTES**

# Recomendação Prática para Maior Eficiência da Calagem

## *Aplicação de calcário*

No mínimo 3 meses antes da semeadura

## *Sistema Convencional de Preparo Estabelecimento do Plantio Direto*

1/2 antes da aração

1/2 após a aração incorporando com grade

Evitar incorporação superficial do  
calcário

## *Plantio Direto Estabelecido*

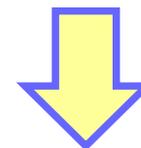
Calagem na superfície



# Calcário no Sulco de Semeadura?



O calcário não é um produto para ser aplicado no sulco



**Trincheiras abertas em junho de 2011 (A) e junho de 2012 (B) mostrando a falta de difusão do calcário peletizado ao longo do perfil do solo, com grânulos visíveis e praticamente não modificados depois de 220 dias da aplicação**

# Sistema Plantio Direto



Produção de palha sobre a superfície



Base de sustentação do sistema

# Abertura de Área

Correção da acidez do solo com incorporação do calcário antes da adoção do sistema plantio direto

---



# Abertura de Área

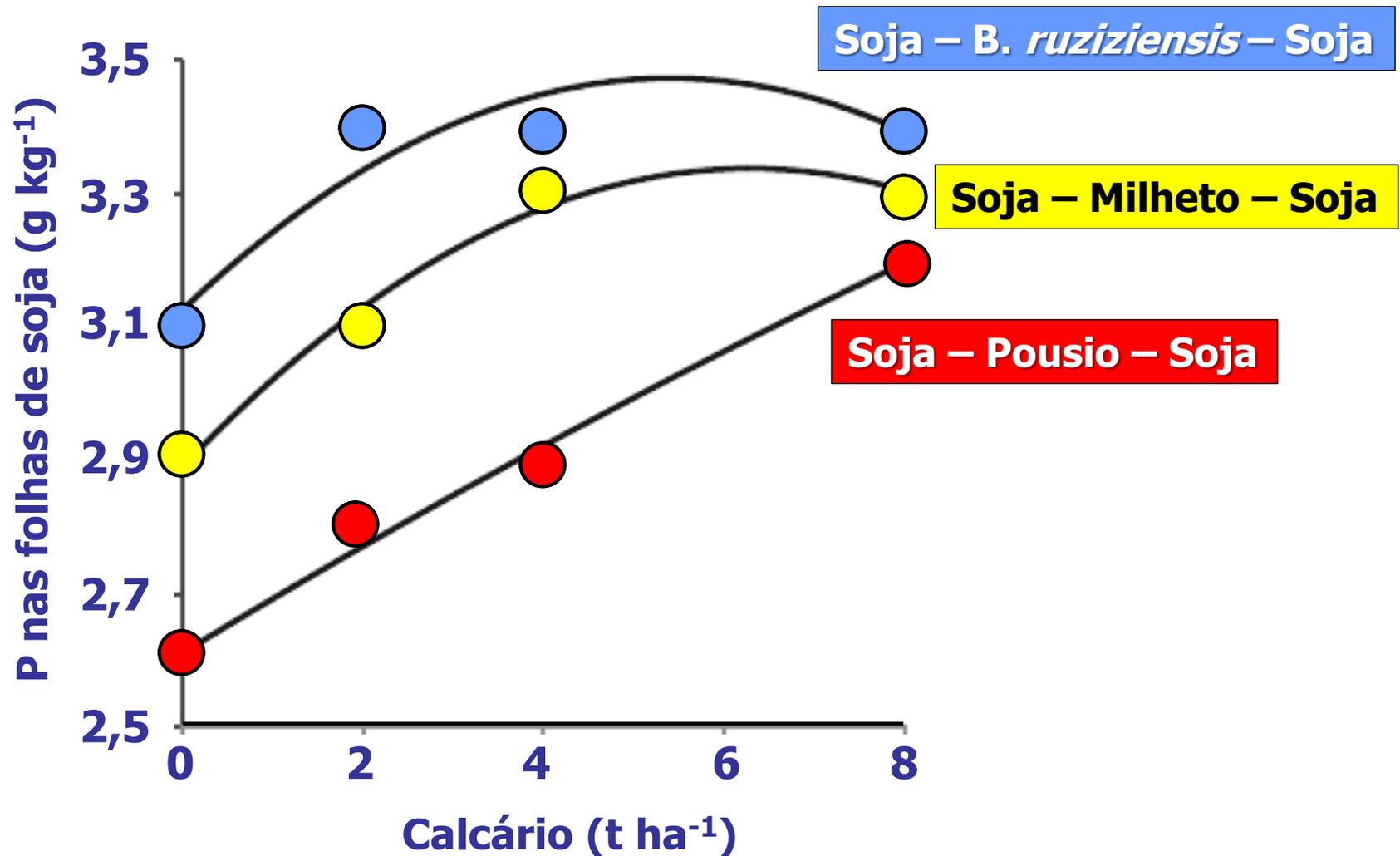
Elevar a saturação por bases do solo (V) a 70%

$$NC \text{ (t/ha)} = \frac{(70 - V\%) \times CTC_{\text{pH}7,0}}{PRNT} \times p$$

$p = 1,0$  → Incorporação a 0–20 cm

$p = 1,5$  → Incorporação a 0–30 cm

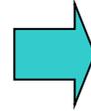
## MELHORIA NO USO DE FÓSFORO



Concentração de fósforo (P) em folhas de soja, em função da calagem em diferentes sistemas de cultivo.

# A Acidez do Solo e a Calagem na Superfície

Deposição de resíduos orgânicos  
Reação de adubos nitrogenados



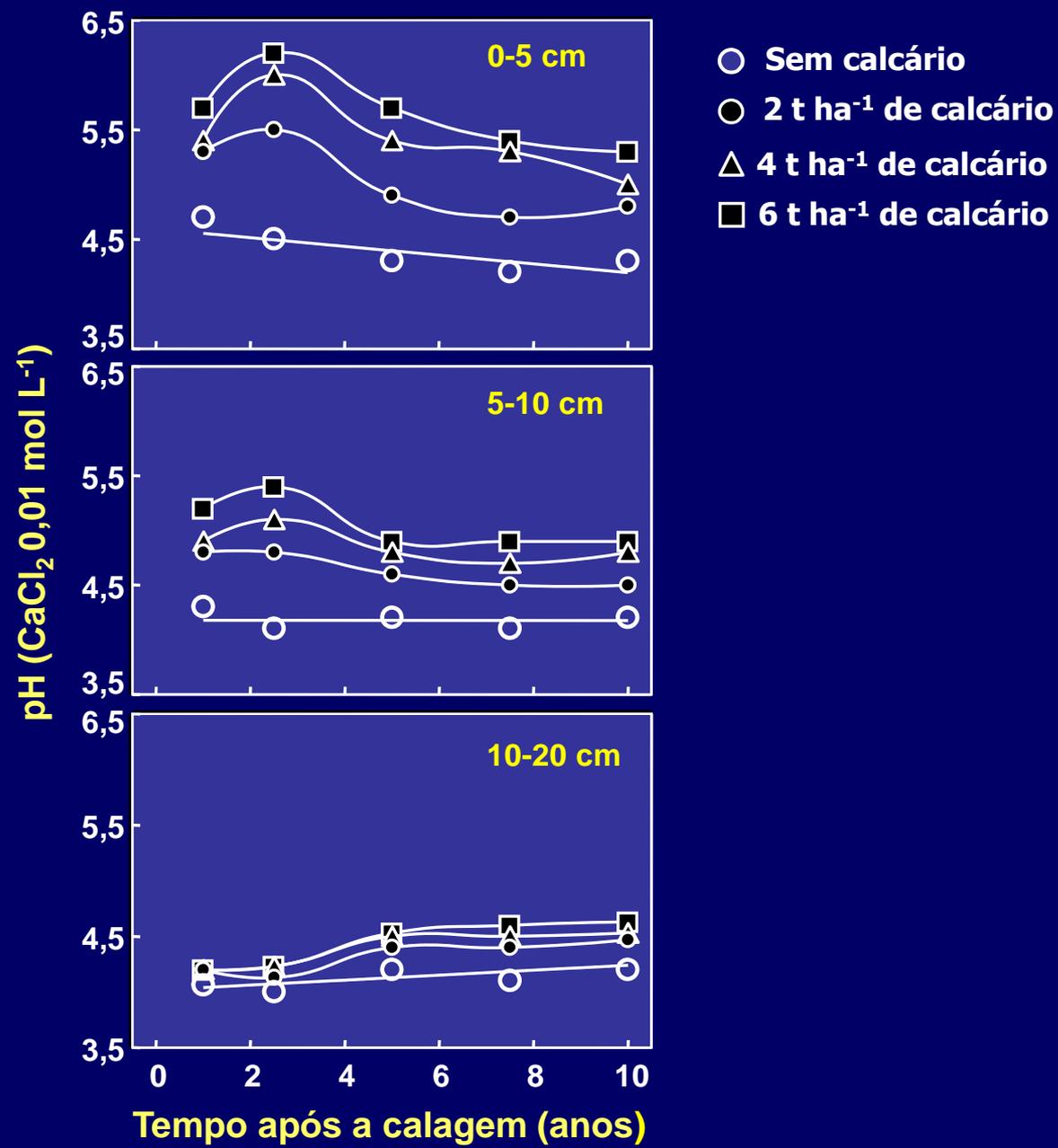
**ACIDIFICAÇÃO DO SOLO**

**Diminuição do pH**       **Aumento do Al trocável e da N.C.**

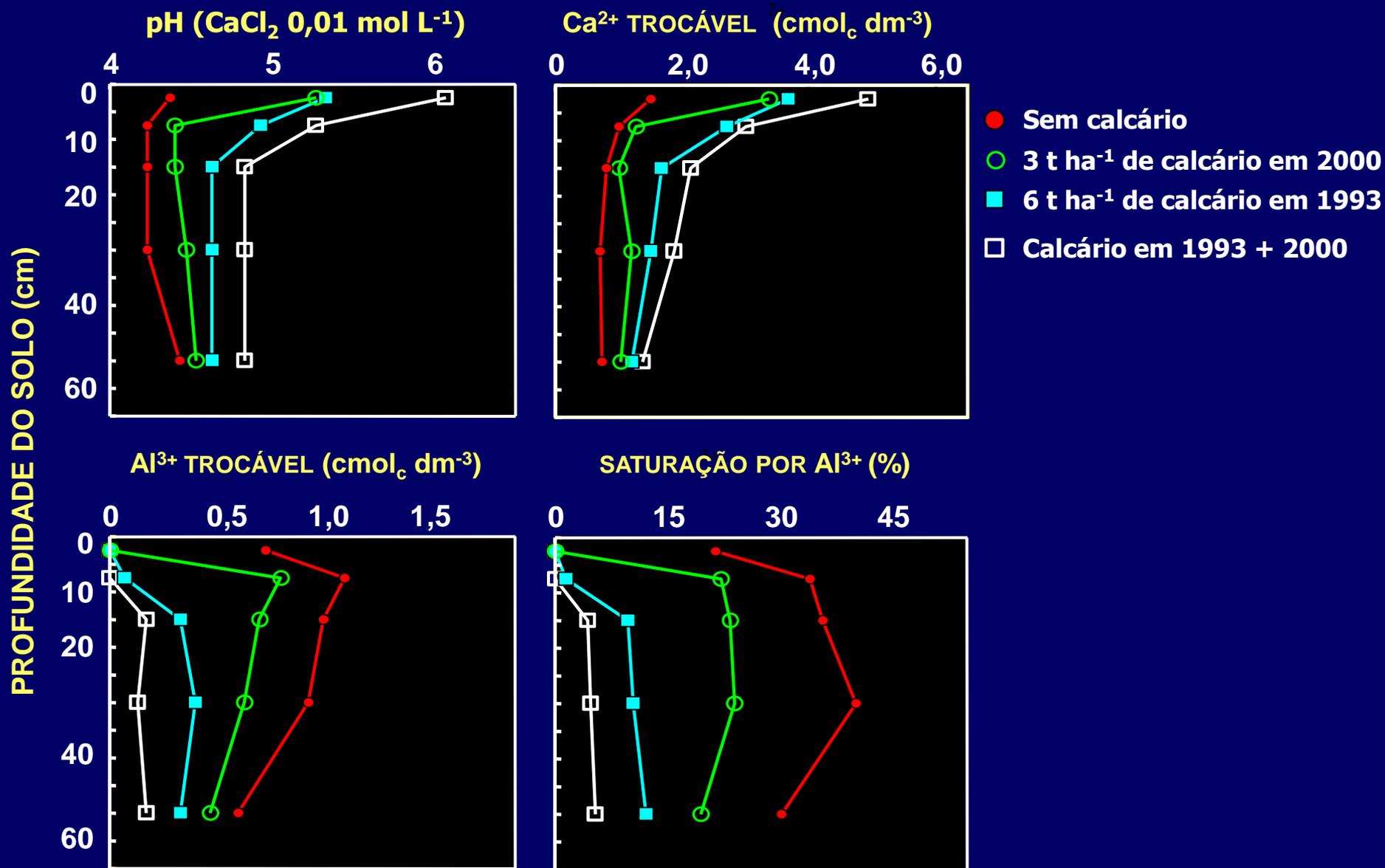
**Calagem na superfície**  **Dificuldades para a recomendação**

**Estimativa da dose de calcário na superfície ???**

# Sistema Plantio Direto Estabelecido



FONTE: Caires et al. (2005) - Agronomy Journal



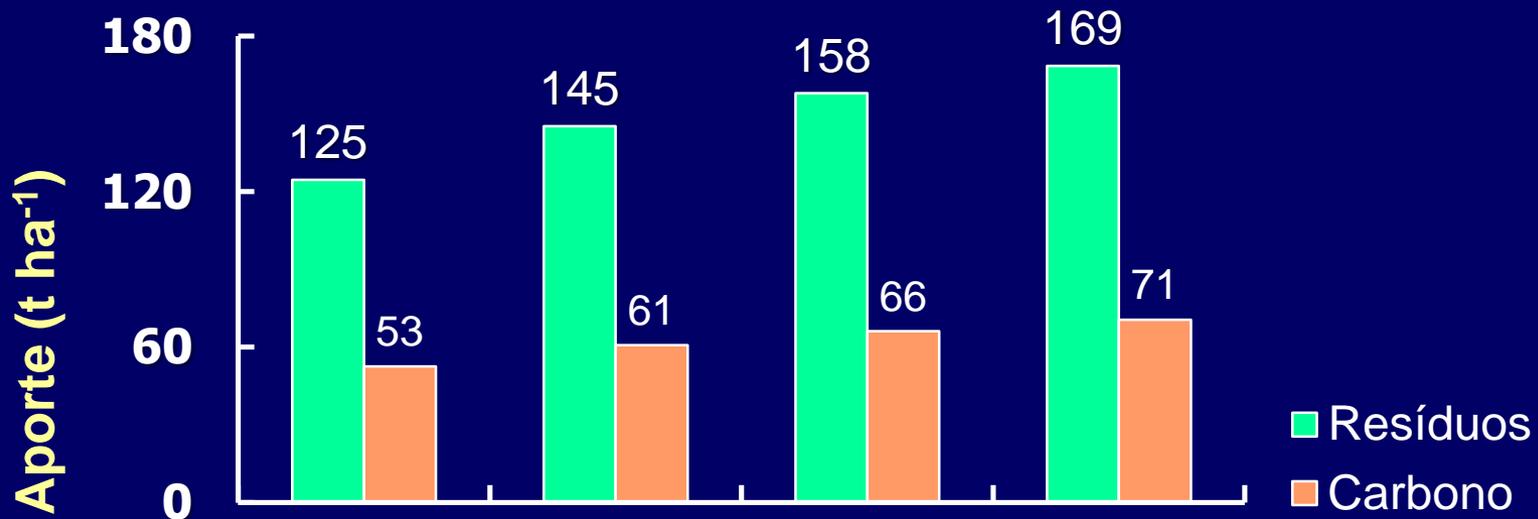
Acidez ativa, Ca<sup>2+</sup> trocável, Al<sup>3+</sup> trocável e saturação por alumínio no perfil do solo. Calcário aplicado na superfície em sistema plantio direto. Solo amostrado em 2003.

# Mecanismos Envolvidos na Correção da Acidez do Subsolo pela Calagem Superficial

- ❑ **Formação e migração de  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  e  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$**
- ❑ **Deslocamento mecânico de partículas de calcário (canais de raízes mortas – intactos – ausência de preparo)**
- ❑ **Adição de calcário e fertilizantes nitrogenados**
- ❑ **Manejo de resíduos orgânicos**

**$\text{ML}^0$  ou  $\text{ML}^-$  (M = Ca ou Mg) – mobilidade no solo**

**Subsolo: M – complexos orgânicos – deslocado pelo  $\text{Al}^{3+}$ :  
complexos mais estáveis – redução acidez trocável**



**Sem  
calcário**

**Calcário  
em 2000  
(3 t ha<sup>-1</sup>)**

**Calcário  
em 1993  
(6 t ha<sup>-1</sup>)**

**Calcário em  
1993 + 2000  
(6 + 3 t ha<sup>-1</sup>)**

■ Resíduos

■ Carbono

Aporte de resíduos e de carbono das culturas em um período de 15 anos (1994–2008) em experimento de calagem na superfície de longa duração em plantio direto.  
Sequência de culturas: soja-aveia preta + ervilhaca-milho-aveia preta-soja-trigo-soja-tritcale-soja-aveia preta-soja-aveia preta-soja-aveia preta-milho-aveia preta-soja-aveia preta-soja-trigo-soja-aveia preta-milho-aveia preta-soja-aveia preta-soja-aveia preta.

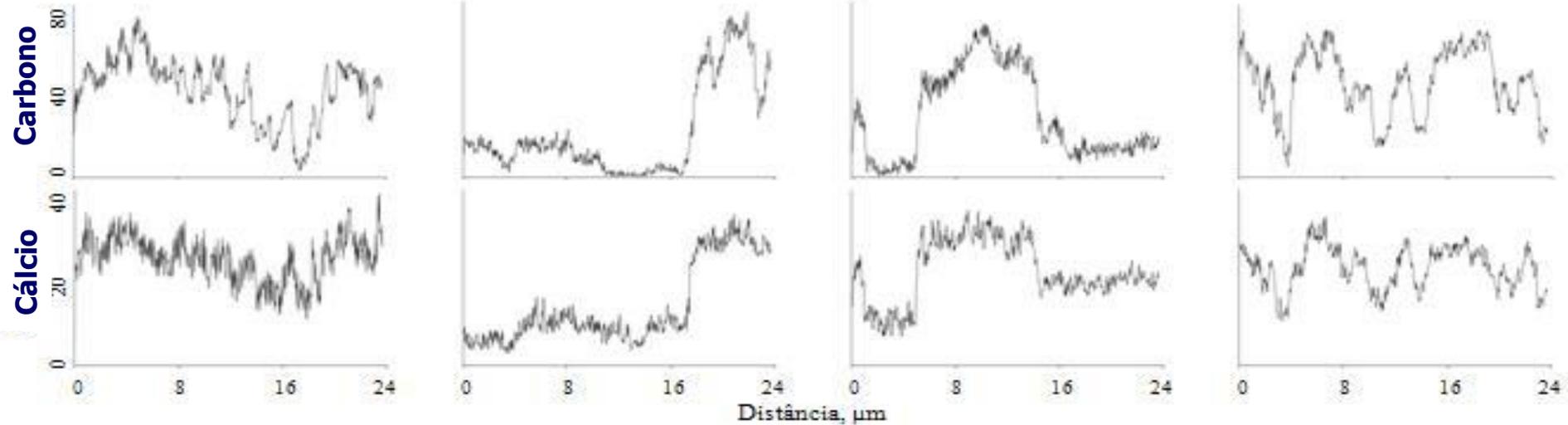
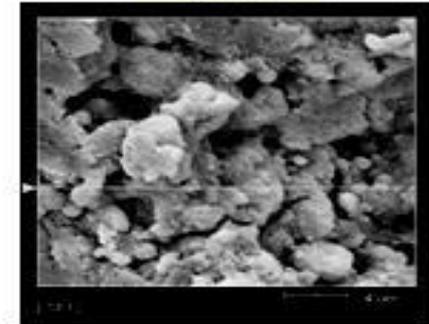
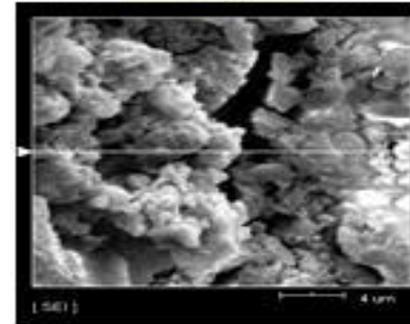
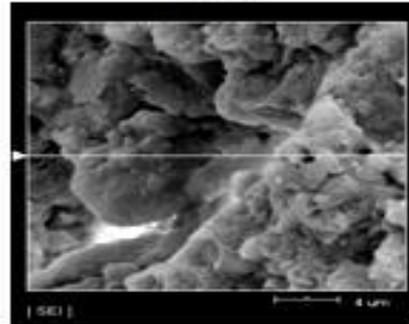
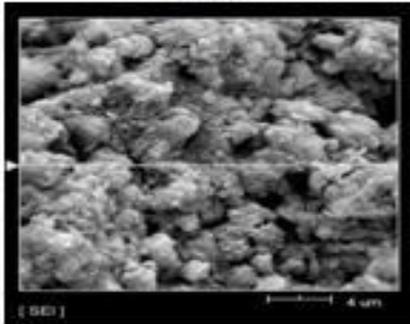
## Calcário aplicado na superfície do solo ( $t\ ha^{-1}$ ) em 1993 e 2000

(0 + 0)

(0 + 3)

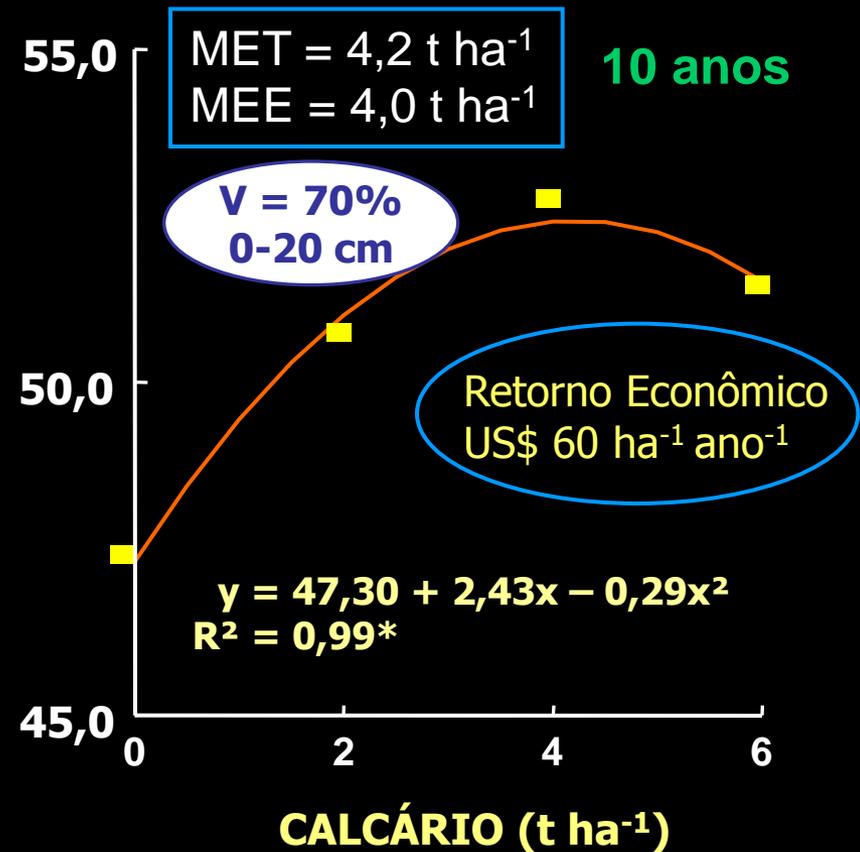
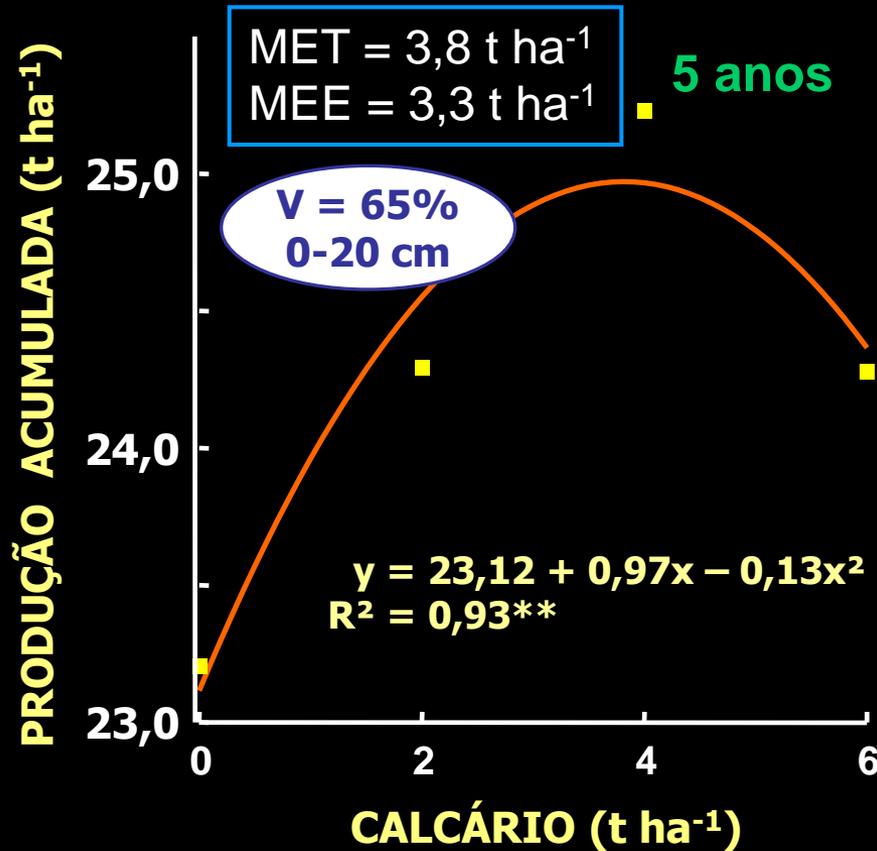
(6 + 0)

(6 + 3)



Caracterização de carbono (C) e cálcio (Ca) por meio de espectrômetro de dispersão de raios X na região central de agregados de tamanho 8-19 mm, considerando a calagem na superfície em um experimento de longa duração (15 anos) em plantio direto. Os agregados foram coletados em 2008.

# Produção acumulada de grãos em função da aplicação superficial de calcário em sistema plantio direto



Produção acumulada de grãos de culturas em rotação no período de 1993 a 2003.  
Rotação: soja, milho, soja, trigo, soja, triticale, soja, soja, soja, milho, soja, soja e trigo.  
\*\*:  $P < 0,01$  e \*:  $P < 0,05$

# Retorno econômico de tratamentos de calagem em sistema plantio direto – Preços em dólares (US\$) (Culturas: soja, cevada, soja, trigo, soja, milho e soja)

Tratamento	Receita bruta das culturas <sup>3</sup>	Custo da calagem			Retorno da calagem	
		Calcário <sup>4</sup>	Distribuição <sup>5</sup>	Incorporação <sup>6</sup>	5 anos	Média anual
		\$ ha <sup>-1</sup>			\$ ha <sup>-1</sup>	\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
Sem calcário	3301	-	-	-	-	-
Calcário na superfície <sup>1</sup>	3536	45	15	-	175	35
Calcário na superfície <sup>2</sup>	3545	45	5	-	194	39
Calcário incorporado	3511	45	10	44	111	22

<sup>1</sup> 1/3 da dose de calcário por ano sobre a superfície durante 3 anos.

<sup>2</sup> Dose total de calcário sobre a superfície em uma única aplicação.

<sup>3</sup> Valor t<sup>-1</sup>: soja \$163,00, cevada \$96,70, trigo \$116,70 e milho \$88,30.

<sup>4</sup> Custo t<sup>-1</sup>: \$10,00.

<sup>5</sup> Custo ha<sup>-1</sup>: \$5,00, incluídos trator, máquina e mão-de-obra durante a operação.

<sup>6</sup> Custo da incorporação do calcário com arado de disco e grade, incluídos trator, máquina e mão-de-obra durante a operação.

**Saturação por bases = 70%**  
**Profundidade = 0-20 cm**

FONTE: Caires et al. (2006) – Soil & Tillage Research

# Produção de grãos de soja durante três anos influenciada pela calagem parcelada na superfície em solo sob plantio direto no Cerrado

Tratamento	Soja	Soja	Soja	Produção Acumulada
	(2010-11)	(2011-12)	(2012-13)	
	kg ha <sup>-1</sup>			
Sem calcário	2013	1819	2820	6652
Calcário na superfície <sup>1</sup>	2494	2538	3151	8183
Valor F <sup>2</sup>	**	**	**	**

<sup>1</sup> Dose de calcário parcelada em três aplicações anuais sobre a superfície durante 3 anos: 5 t ha<sup>-1</sup> 2 t ha<sup>-1</sup> em 2010 + 2 t ha<sup>-1</sup> em 2011 + 1 t ha<sup>-1</sup> em 2012

<sup>2</sup> \*\*  $P < 0,01$ .



**Saturação por bases = 70%**  
**Profundidade = 0-20 cm**

**+ 25  
sc/ha**

0-5 cm

0-10 cm

0-20 cm

■ Soja

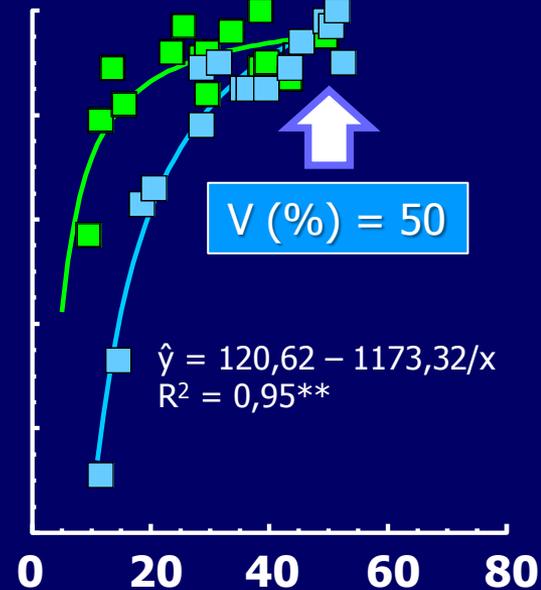
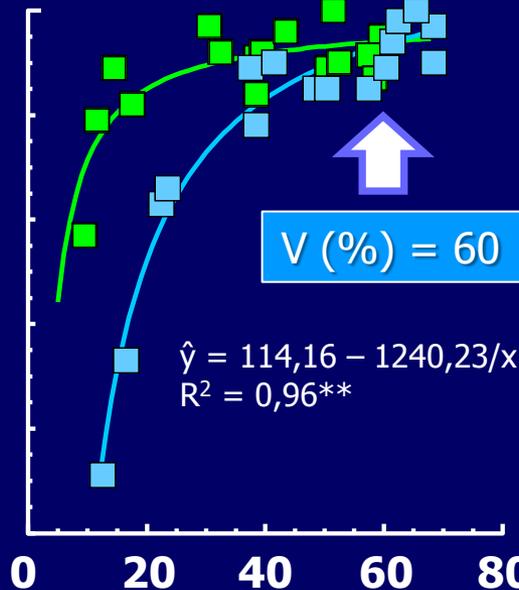
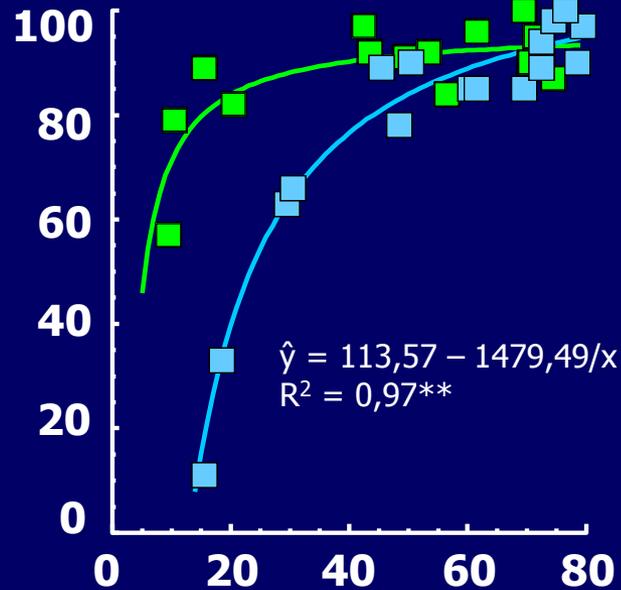
■ Milho

$$\hat{y} = 96,57 - 253,10/x$$
$$R^2 = 0,62^{**}$$

$$\hat{y} = 98,59 - 271,45/x$$
$$R^2 = 0,64^{**}$$

$$\hat{y} = 101,13 - 294,24/x$$
$$R^2 = 0,61^{**}$$

PRODUÇÃO RELATIVA (%)



SATURACÃO POR BASES (%)

Relações entre a produção relativa de grãos de soja e milho e a saturação por bases do solo, nas profundidades de 0-5 cm, 0-10 cm e 0-20 m.  $**P < 0,01$ .

# Necessidade de Calagem para o Sistema Plantio Direto

Amostragem de solo: 0–20 cm

Calcular a dose de calcário pelo método da elevação da saturação por bases para 70%:

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{(70 - V) \times CTC_{pH7,0} \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3}\text{)}}{PRNT}$$

Distribuir a dose de calcário calculada sobre a superfície do solo em uma única aplicação ou de forma parcelada durante até 3 anos

Reaplicar calcário na superfície somente quando o solo apresentar saturação por bases ( $V$ ) < 60% na camada de 0–10 cm ou  $V$  < 50% na camada de 0–20 cm

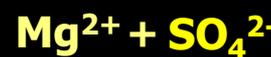
# Mecanismo de Ação do Gesso



Gesso Agrícola

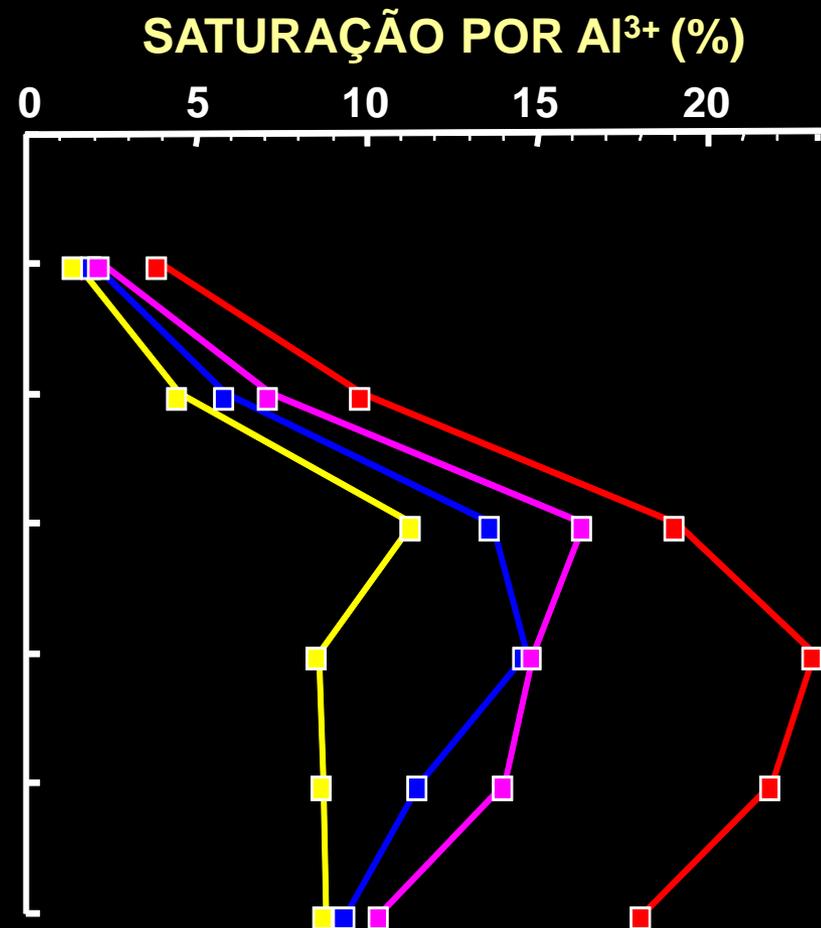
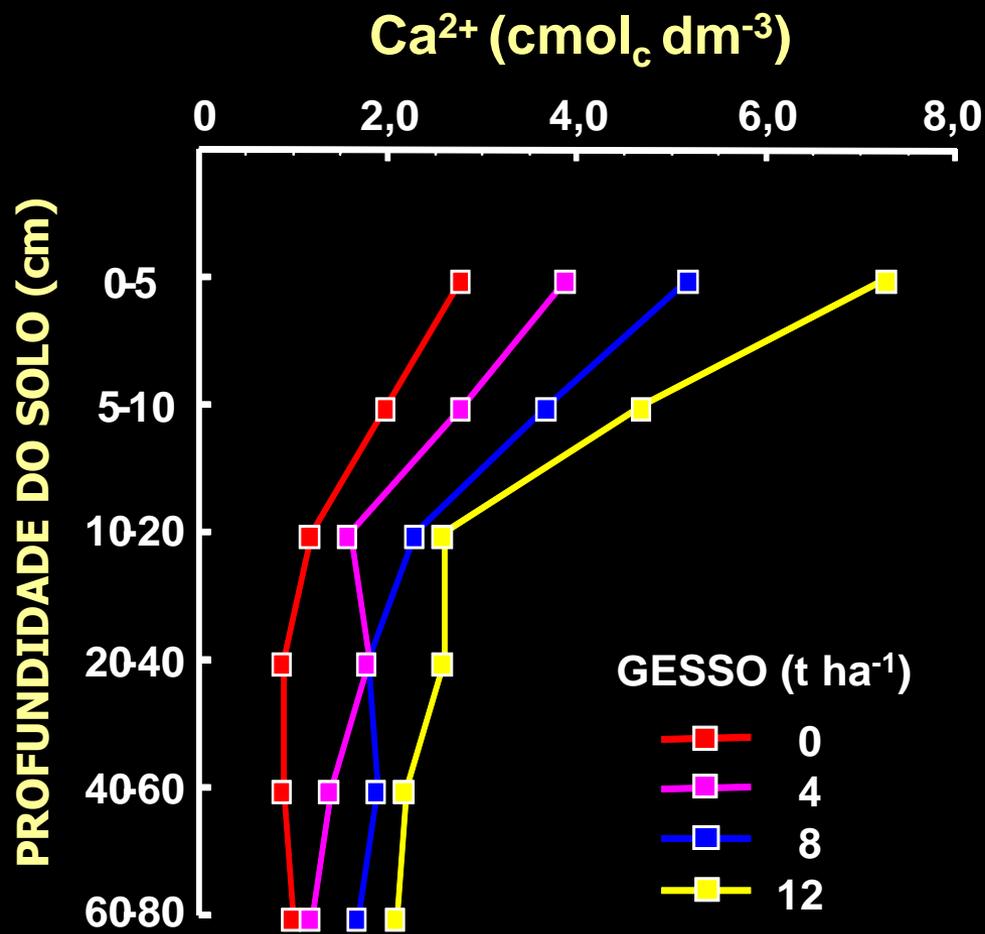


SOLUÇÃO DO SOLO



MOVIMENTAÇÃO

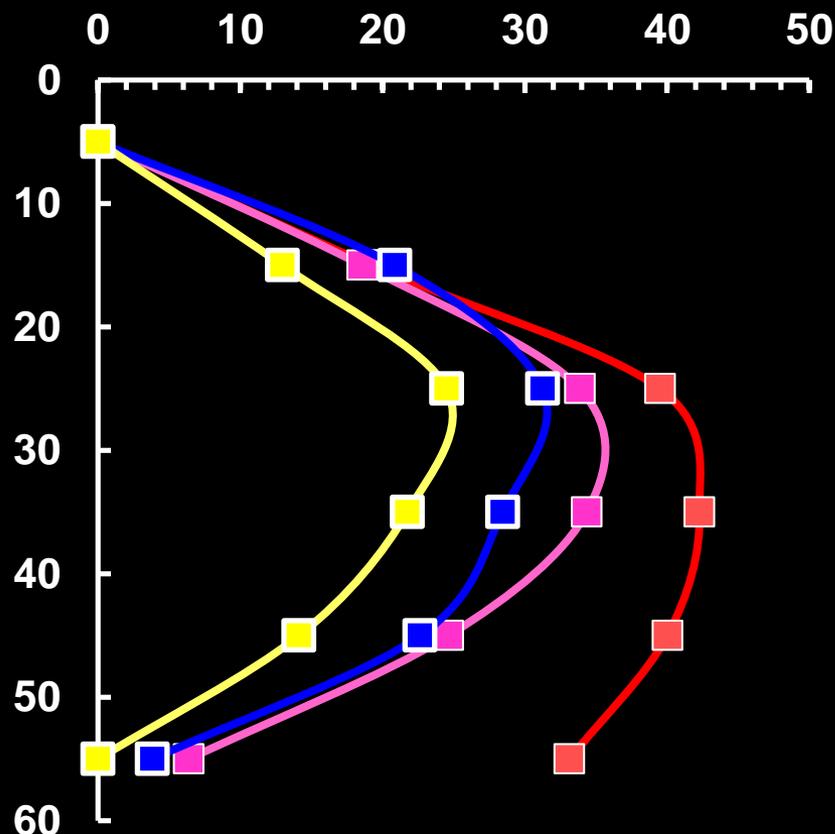
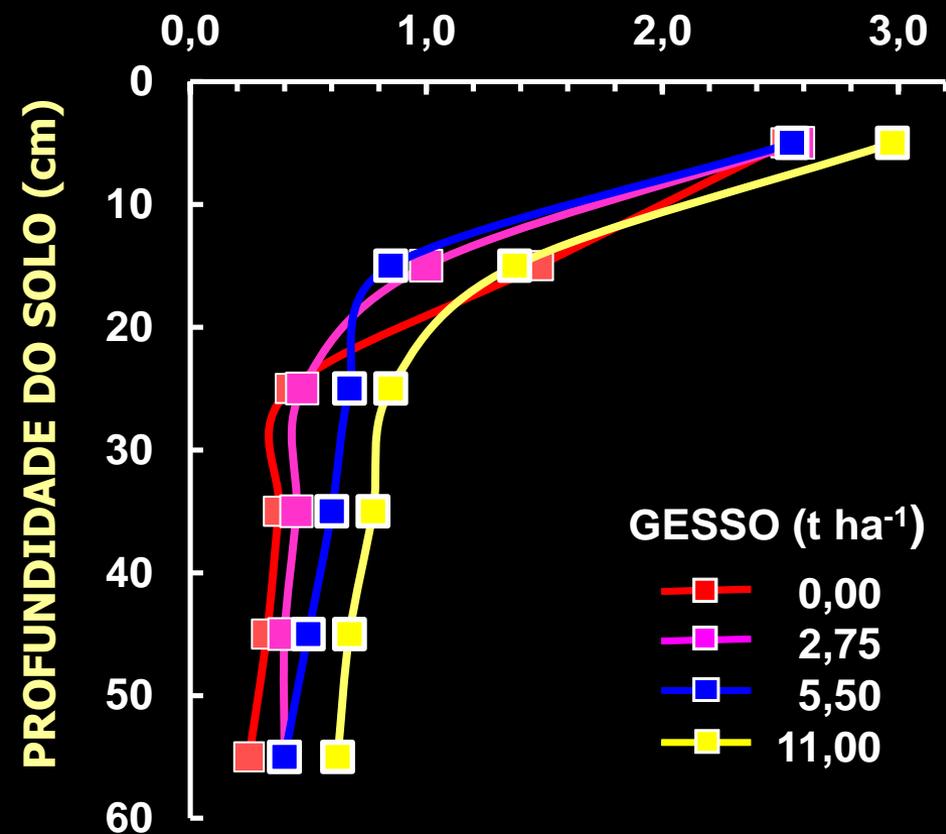




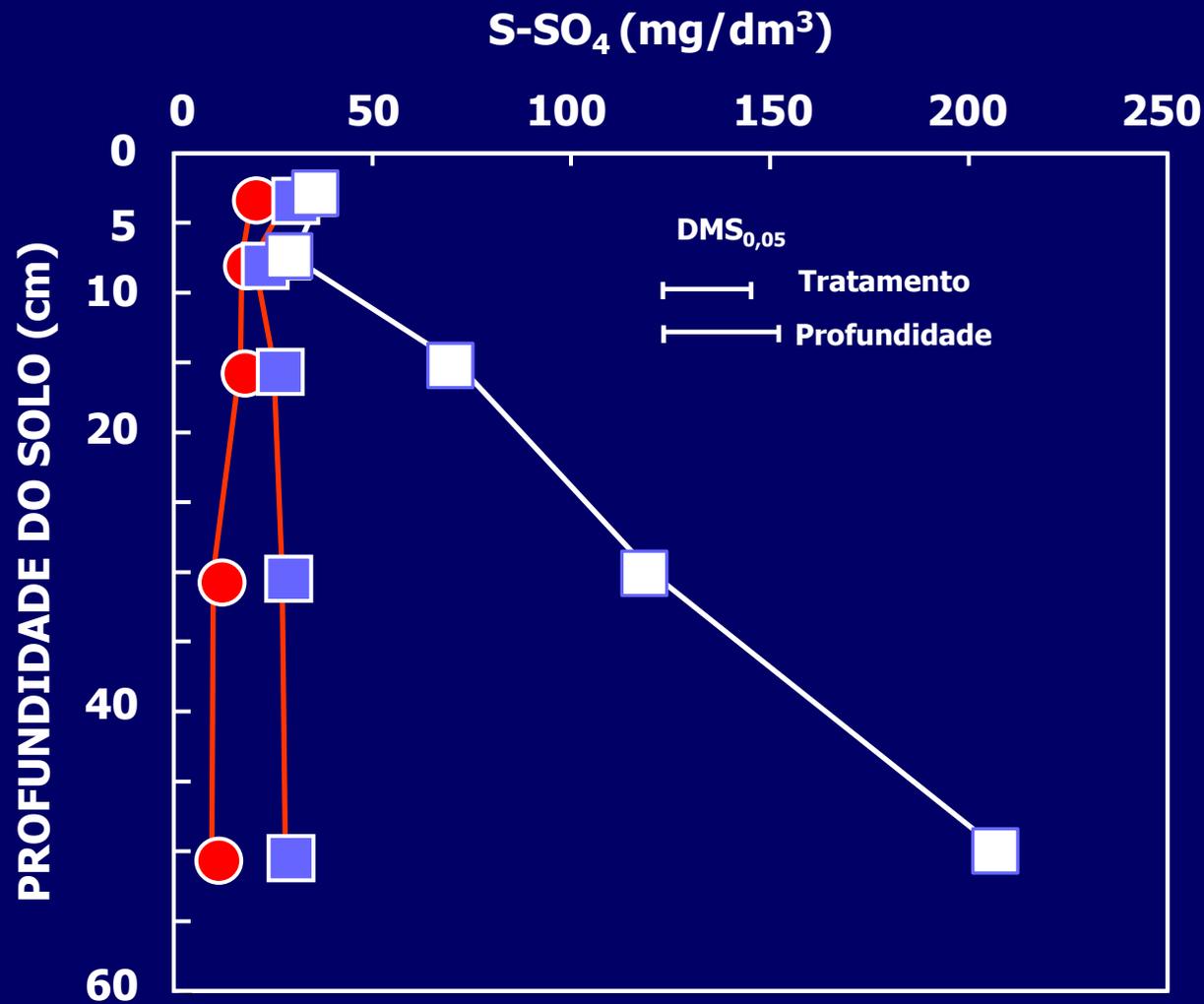
Efeito da aplicação de gesso, após 14 meses, no teor de Ca<sup>2+</sup> trocável e na saturação por Al<sup>3+</sup> de um LV textura média manejado em plantio direto.

$\text{Ca}^{2+}$  ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )

SATURAÇÃO POR  $\text{Al}^{3+}$  (%)



Efeito da aplicação de gesso, após 24 meses, no teor de  $\text{Ca}^{2+}$  trocável e na saturação por  $\text{Al}^{3+}$  de um LVA textura argilosa sob plantio direto no Cerrado.



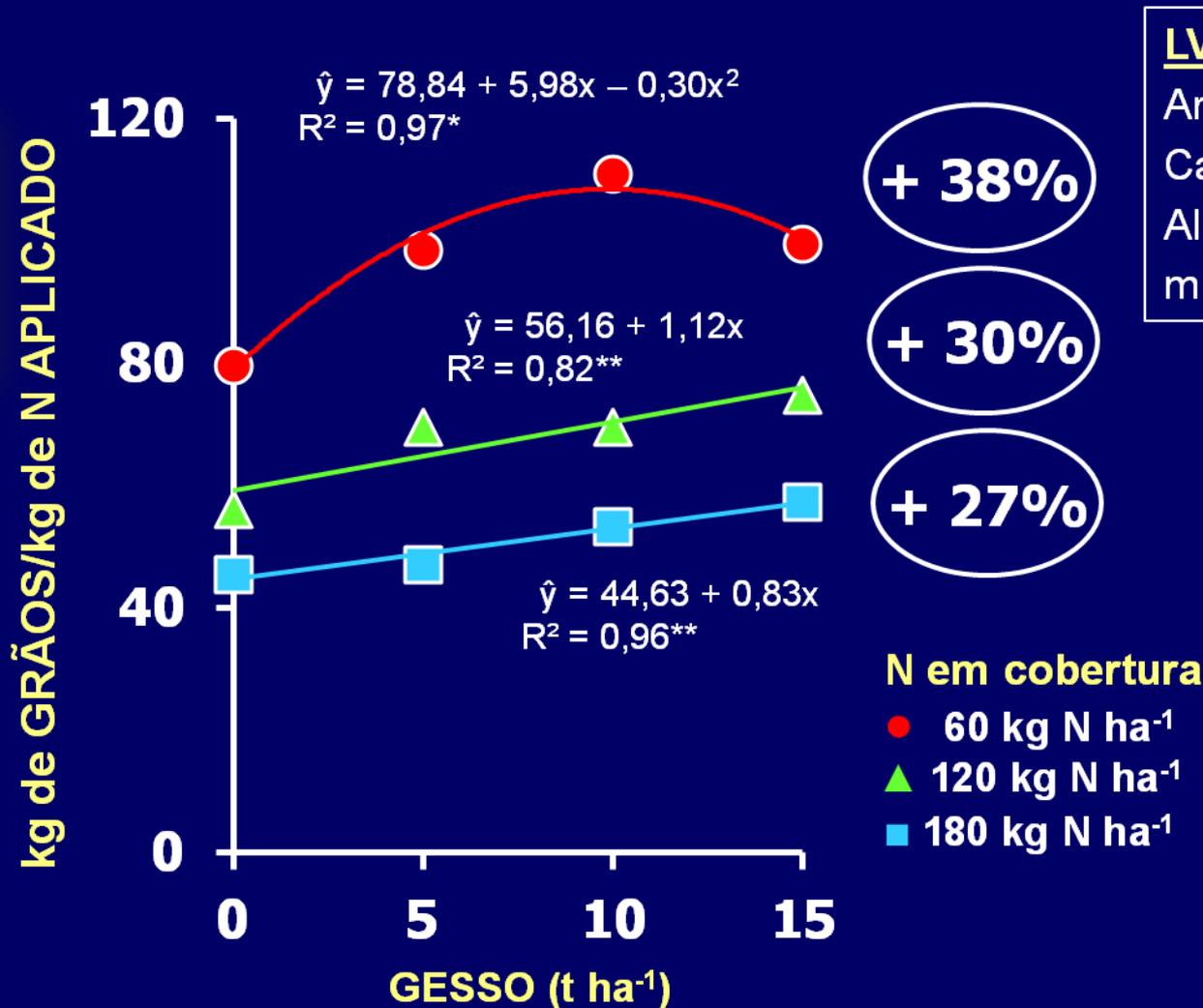
Teor de S-SO<sub>4</sub> no perfil do solo nos tratamentos sem gesso em 1999 (●) e 2006 (□) e após aplicação de gesso (9 t ha<sup>-1</sup>, ■) em plantio direto. Gesso aplicado em 1998 e solo amostrado em 2006. Barras horizontais representam a DMS (teste de Tukey a 5%).

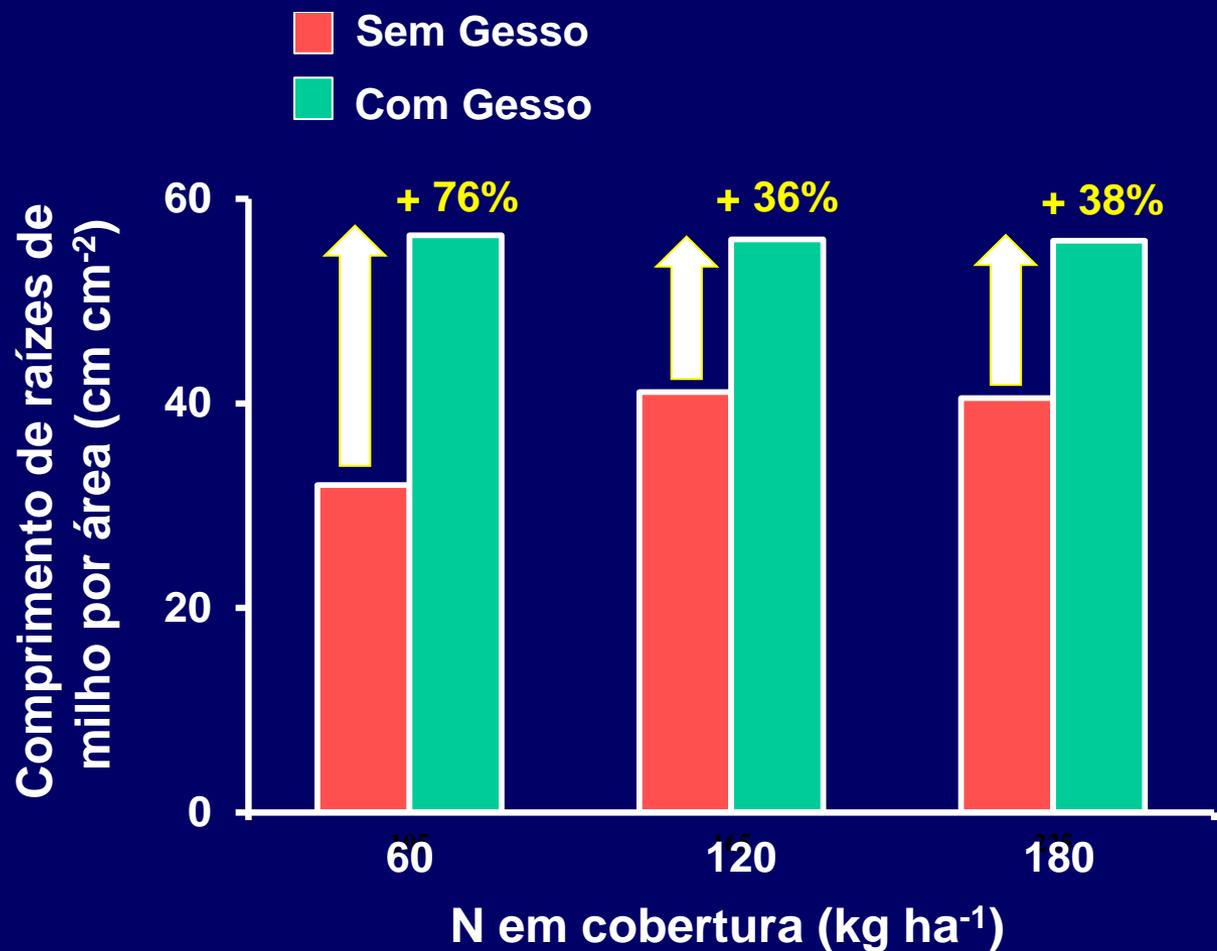
# FATOR PARCIAL DE PRODUTIVIDADE DE N DA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Gesso: 2009



2009/10





Comprimento de raízes de milho por área, até a profundidade de 60 cm, em função da aplicação de gesso, considerando as doses de 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura.

# Crescimento radicular do milho até 50 cm aos 40 dias após a emergência

**SEM GESSO**

**COM GESSO**



**Sem N em cobertura**

**180 kg N ha<sup>-1</sup>**

**Sem N em cobertura**

**180 kg N ha<sup>-1</sup>**

- Calcário Incorporado
- Calcário na Superfície

Estoque de C no solo  
Tratamento Controle  
(2013)

164,6  
t ha<sup>-1</sup>

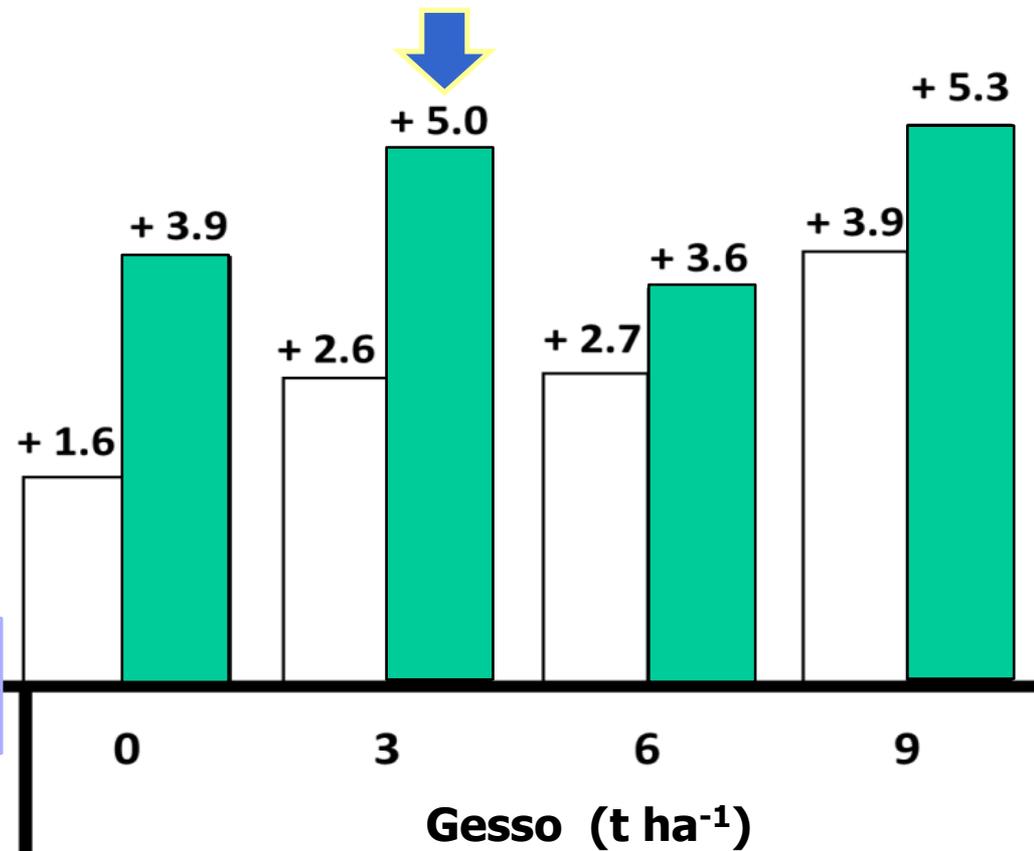


+ 6,2  
t ha<sup>-1</sup>

Estoque de C no solo  
Início do Experimento  
(1998)

158,4  
t ha<sup>-1</sup>

Ganho de C no solo (t ha<sup>-1</sup>)

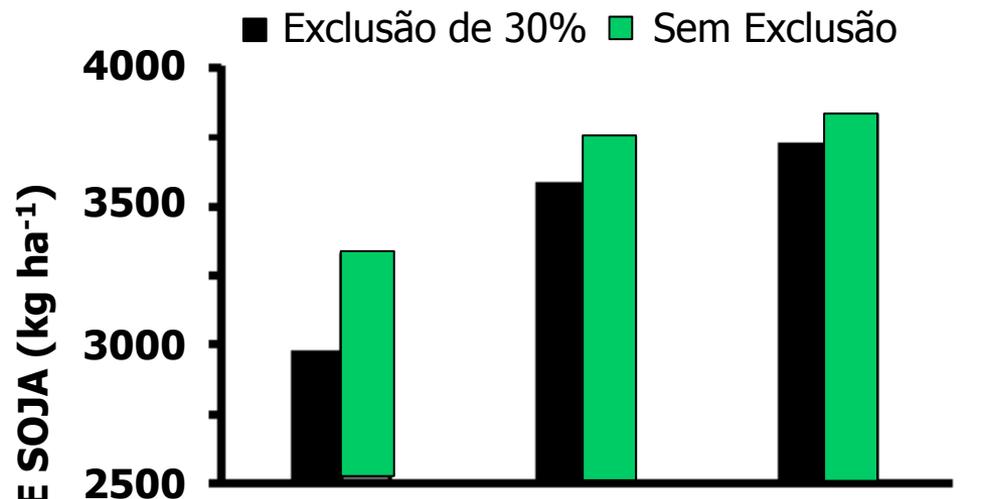


Estoque de C-orgânico no solo (0–60 cm) no início do experimento (1998), após 15 anos no tratamento controle (2013) e os ganhos de C-orgânico no solo de acordo com os tratamentos de calagem e gesso.

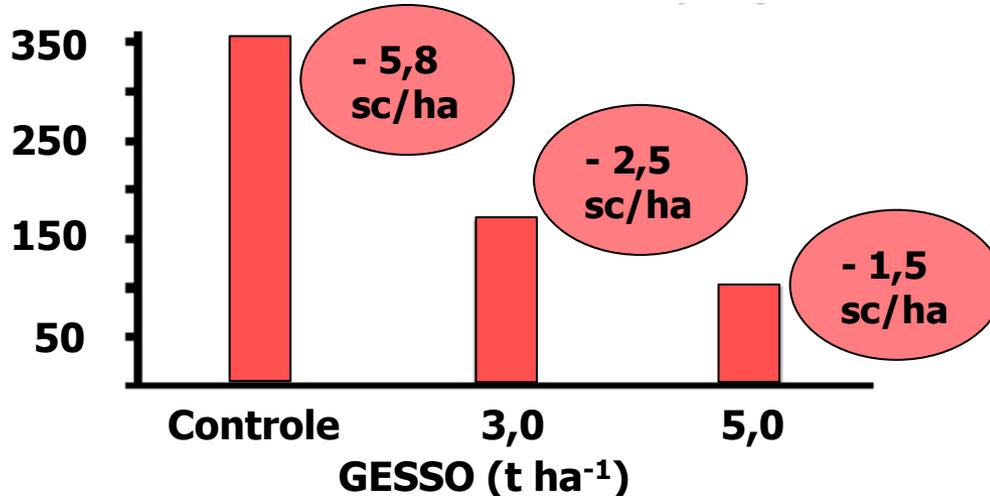
# GESSO



Reduz perdas na produção de soja causadas pela seca



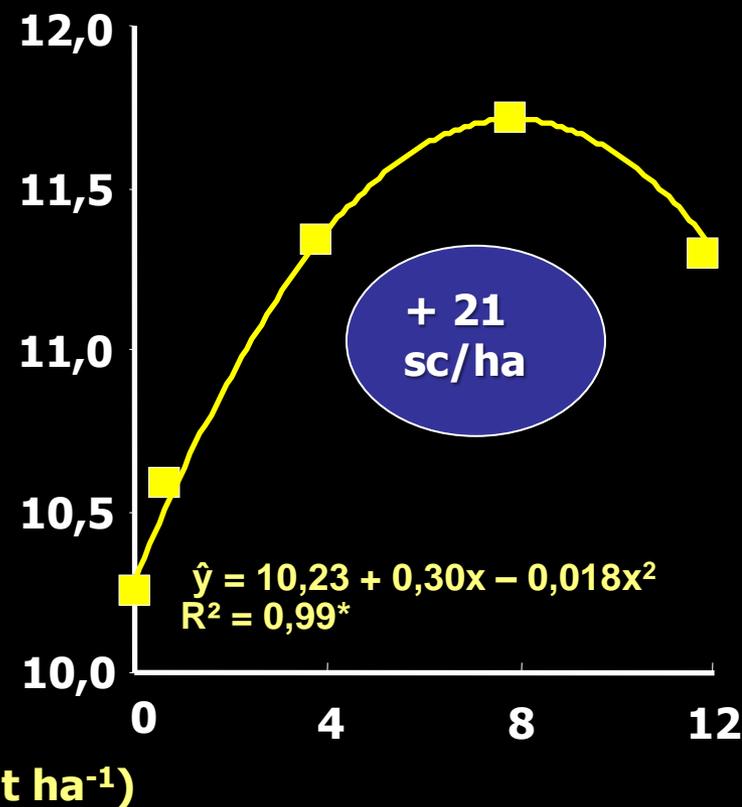
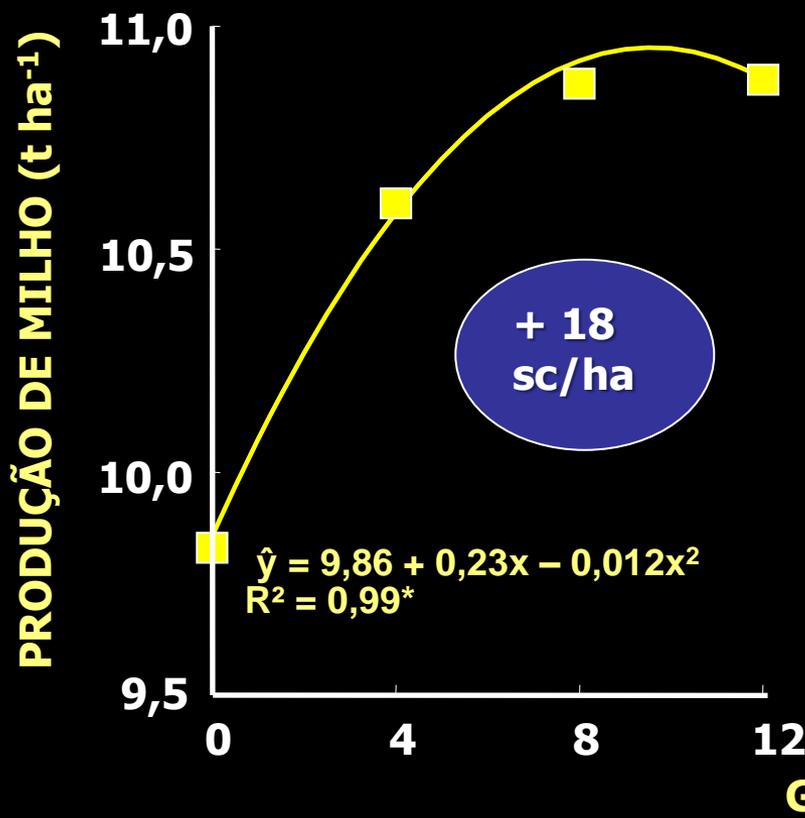
Decréscimo na produção de soja induzido pela exclusão da precipitação



Produção de soja com e sem exclusão de 30% (280 mm) da precipitação após a aplicação de gesso e decréscimo na produção induzido pela exclusão da precipitação.

FONTE: Nora, Amado, Giardello et al. (2013) – Revista Plantio Direto

# PRODUÇÃO DE GRÃOS DE MILHO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO NA SUPERFÍCIE EM SISTEMA PLANTIO DIRETO



**Latossolo  
text. média**

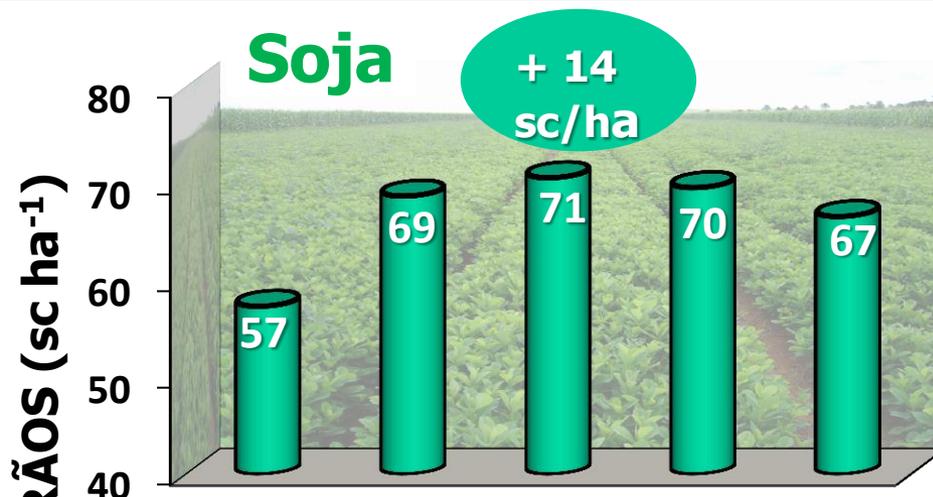
Produção de milho (1994/95)  
Gesso aplicado em 1993  
\*:  $P < 0,05$

**Latossolo  
argiloso**

Produção de milho (2005/06)  
Gesso aplicado em 2005  
\*:  $P < 0,05$

# PRODUÇÃO DE GRÃOS DE SOJA E MILHO COM A APLICAÇÃO DE GESSO NA SUPERFÍCIE EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

2008/2009



**CERRADO**

LVA (20–40 cm)

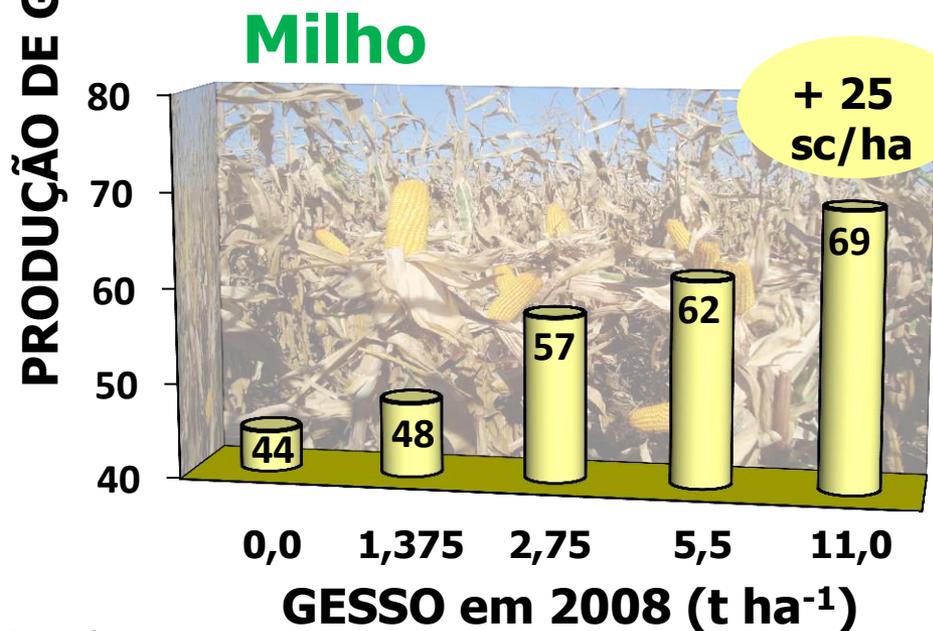
Argila = 50%

Ca = 0,35 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>

Al = 0,30 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>

m = 33%

2010



# PRODUÇÃO DE ALGODÃO EM CAROÇO COM A APLICAÇÃO DE GESSO NA SUPERFÍCIE EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

SEM GESSO

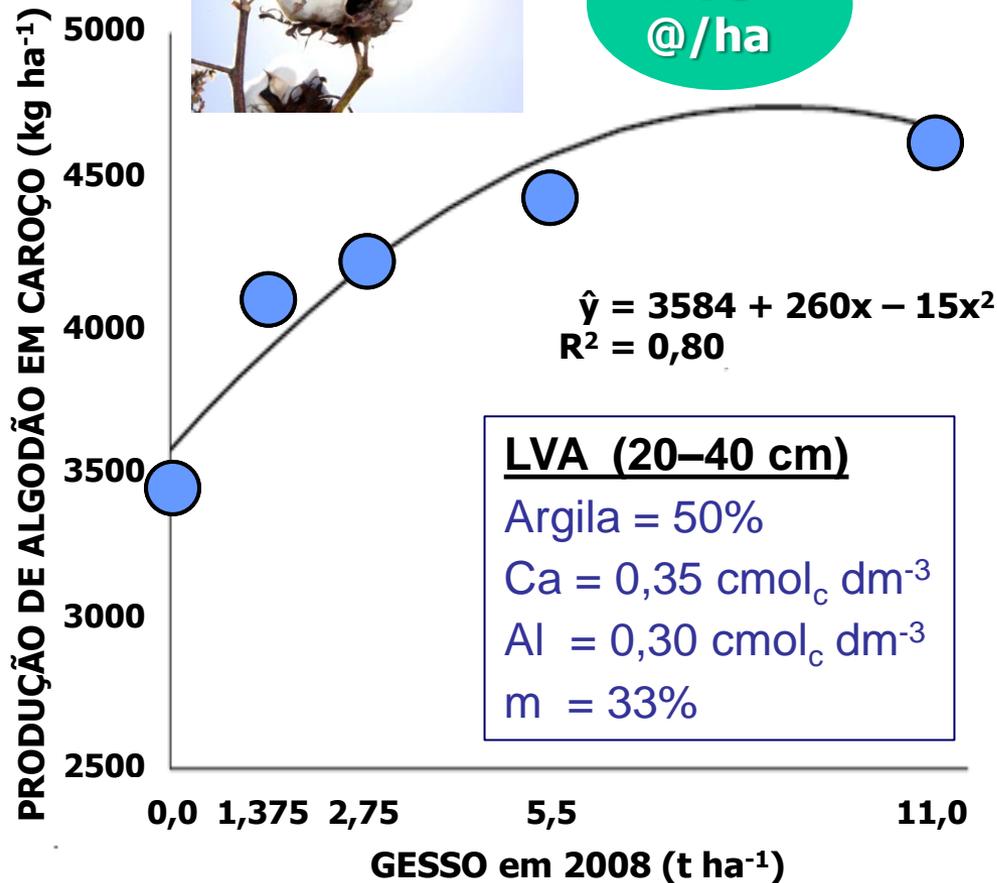
COM GESSO  
(2,75 t ha<sup>-1</sup>)



COM GESSO  
(11,0 t ha<sup>-1</sup>)

SEM GESSO

2010/2011



FONTE: Fundação MT/PMA/Nutrien

# Uso de Gesso na Melhoria de Subsolos Ácidos

**Camada diagnóstica: 20–40 ou 40–60 cm**

**$\text{Ca} \leq 0,4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$**

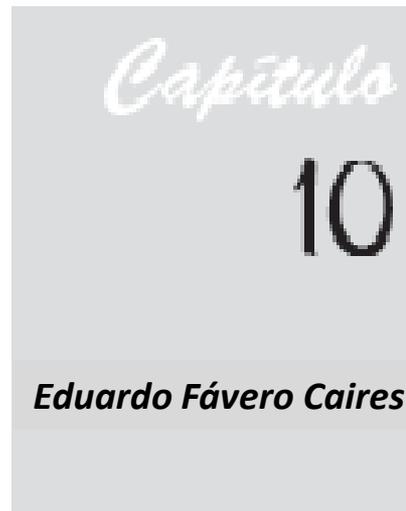
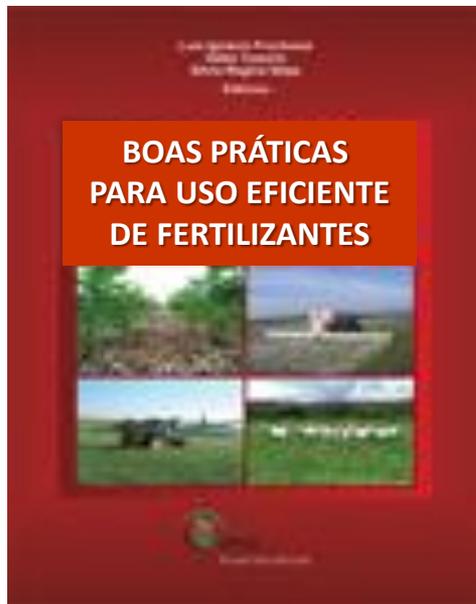
**Saturação por Ca (CTCe) < 60%**

**$\text{Al} \geq 0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$**

**Saturação por Al (m)  $\geq 20\%$**

**Teor de Argila**

**$\text{NG (kg/ha)} = 50 \times \text{Argila (\%)}$**



# MANEJO DA ACIDEZ DO SOLO



## CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

*Eduardo Fávero Caires*

## USO DE CORRETIVOS GRANULADOS NA AGRICULTURA

*Eduardo Fávero Caires  
Helio Antonio W. Joris*

## **MENSAGEM**

O plantio direto é o sistema que mais preserva o solo para as gerações futuras, está inserido no Programa ABC e a sua adoção está sendo consideravelmente ampliada no Brasil.

O manejo adequado da acidez do solo é de primordial importância para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes e a produção agrícola brasileira.

# **MUITO OBRIGADO**



Laboratório de Fertilidade do Solo

Eduardo Fávero Caires

Tel. (42) 3220-3091

E-mail: [efcaires@uepg.br](mailto:efcaires@uepg.br)