

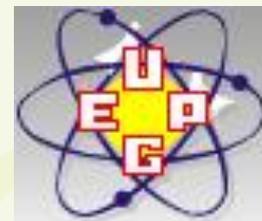
VII Simpósio Regional • IPNI Brasil

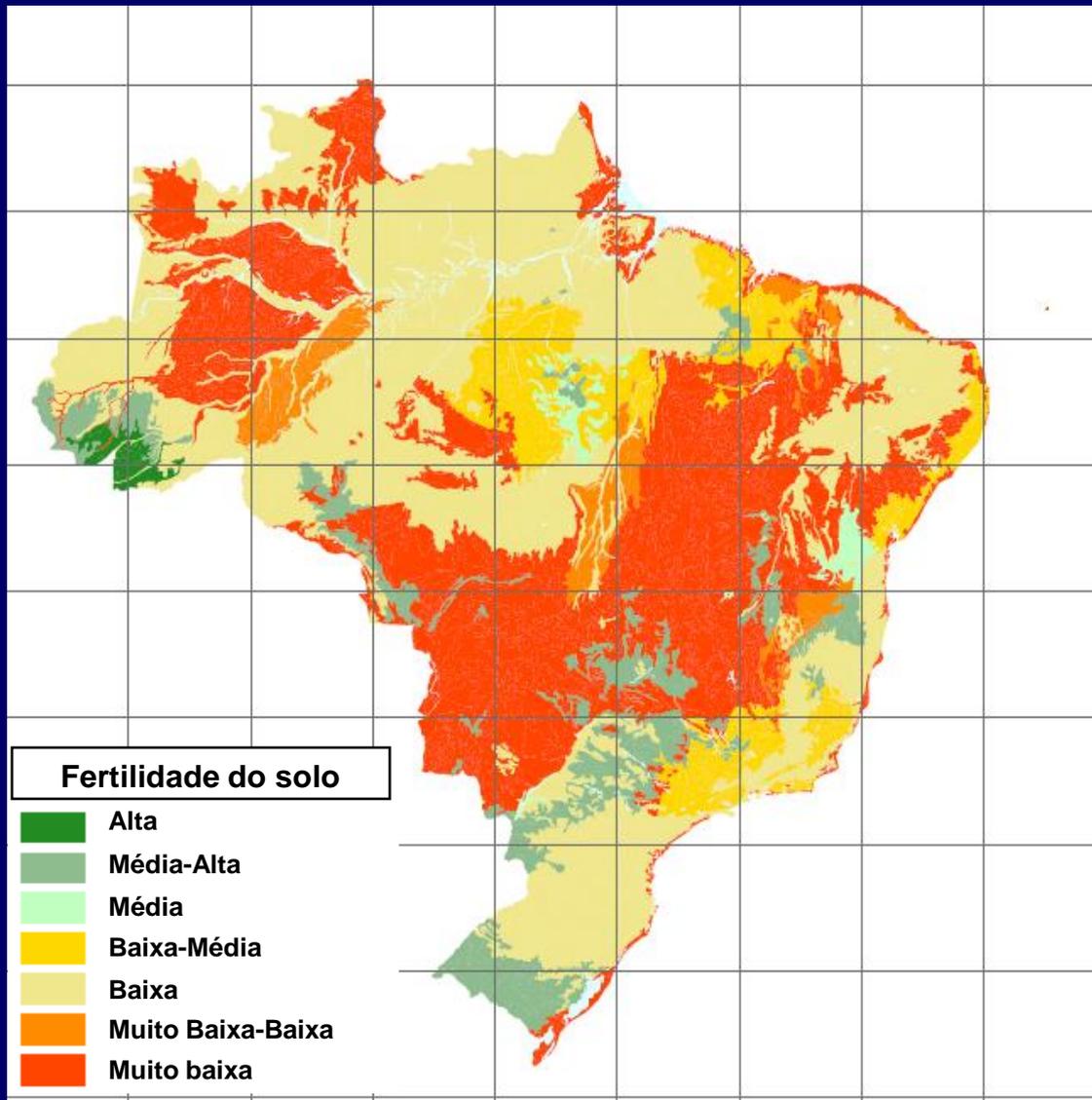
BOAS PRÁTICAS PARA USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES

Araguaína - TO • 19 e 20/AGOSTO/2014

Manejo da Acidez do Solo como Fundamento para BPUFs

Eduardo Fávero Caires
Universidade Estadual de Ponta Grossa





Mapa de fertilidade dos solos do Brasil

FONTE: Embrapa (1980)

Solos com Fertilidade Baixa ou Muito Baixa

Acidez

Deficiência de Ca

Excesso de Al

Avanço da Agricultura Cerrado

**Área cultivada – grãos
52 milhões ha**

**Sistema Plantio Direto
32 milhões ha (62%)**

Maior sustentabilidade da agricultura em regiões tropicais e subtropicais

Sistema Plantio Direto



Produção de palha sobre a superfície



Base de sustentação do sistema

A origem do Próton (H⁺) e a Acidificação do Solo

Dissociação do gás carbônico



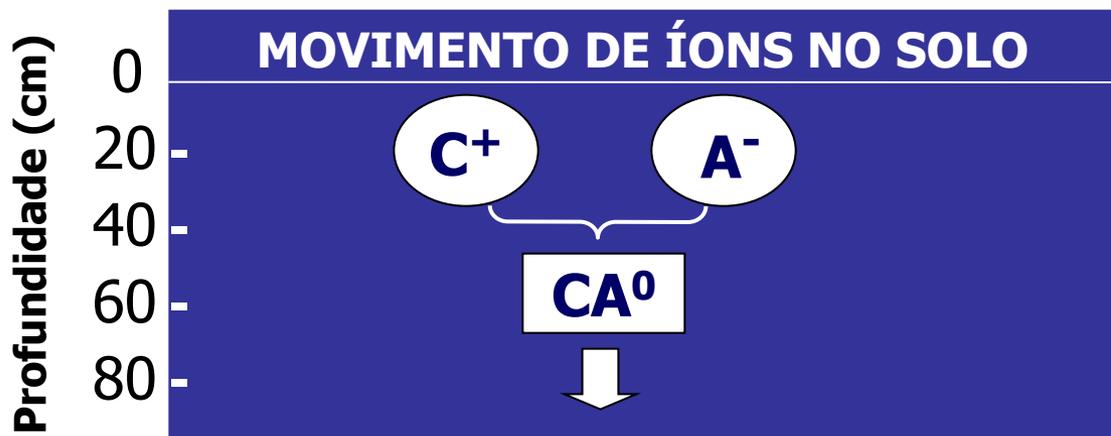
pH < 5,2 - A dissociação não ocorre

Fertilizantes Acidificantes - Nitrogenados

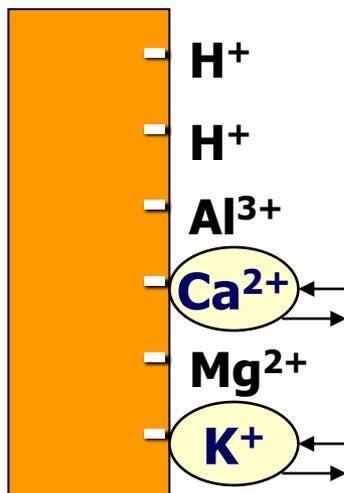


NH₄⁺ → Mineralização da Matéria Orgânica

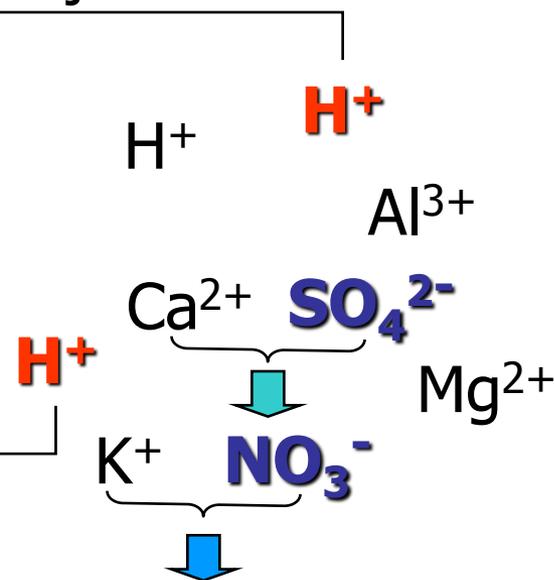
ADIÇÃO DE ÂNIONS → REMOÇÃO DE CÁTIONS → ACIDIFICAÇÃO



FASE SÓLIDA



SOLUÇÃO DO SOLO



ACIDIFICAÇÃO

Valores de $\text{pH}_{\text{água}}$ do solo (0–20 cm), de acordo com doses e fontes de nitrogênio (sulfato de amônio e uréia), aplicadas em pastagem de capim–marandu, após de três cortes

Dose de N	Fonte de N	
	Sulfato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Uréia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
kg ha^{-1}	$\text{pH}_{\text{água}}$ do solo	
0	5,8	5,9
100	5,3	5,5
200	5,1	5,3
300	4,7	5,0

FONTE: Adaptado de Costa et al. (2008) – Revista Brasileira de Ciência do Solo

A Origem e o Comportamento Químico do Alumínio

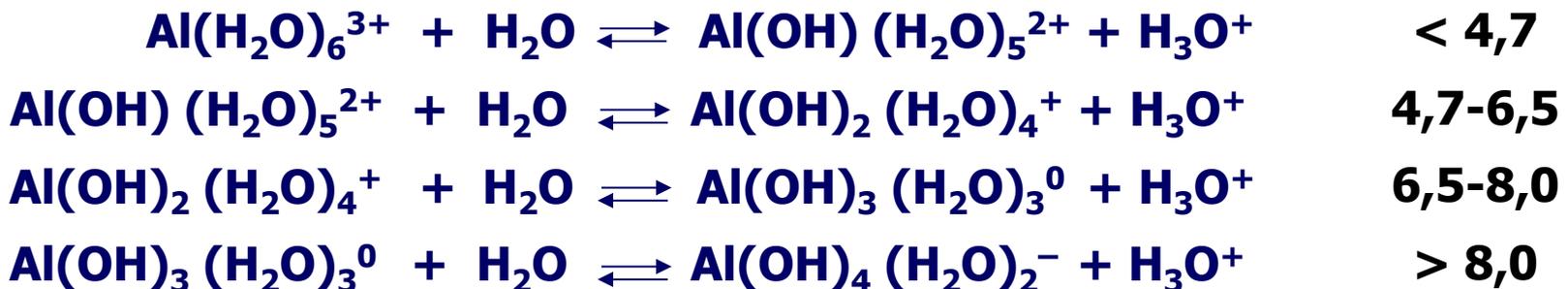
ALUMÍNIO : Tem sido bastante associado com a acidez do solos (Al^{3+})

Responsável pela acidez dos solos (tropicais)
Idéia Distorcida



HIDRÓLISE – SOLUÇÃO DO SOLO

Predomina em pH



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



AS RAÍZES NÃO SE DESENVOLVEM BEM EM SOLOS ÁCIDOS

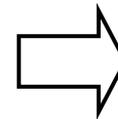
Falta de Ca

Severas restrições ao crescimento radicular

Excesso de Al

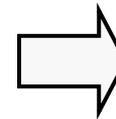
As raízes se tornam mais lentas em alongar, engrossam e não se ramificam normalmente. Prejudica a absorção de N, P, Ca e Mg pelas plantas

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

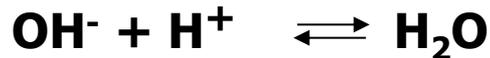


**Corretivos da acidez mais usados
na agricultura**

Rochas calcárias moídas

Minerais: calcita e dolomita

CaCO_3 e MgCO_3



Neutralização da acidez

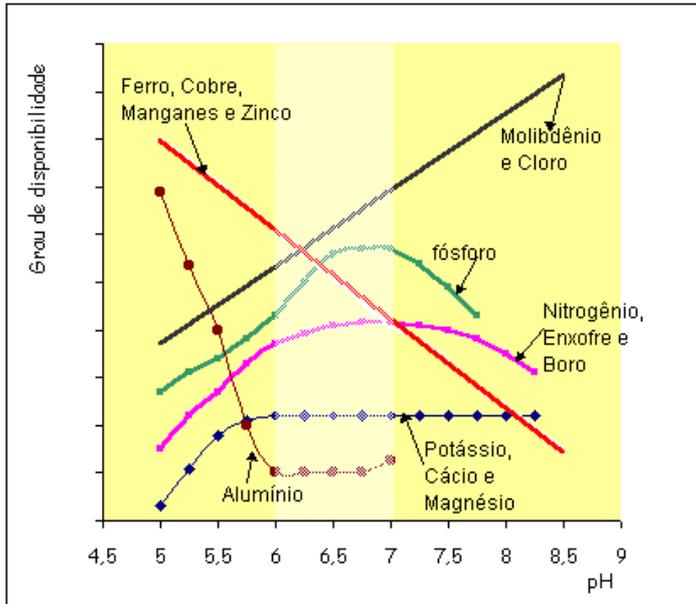
Conteúdo de neutralizantes – PN

Granulometria – RE

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

**$\text{PN} - \text{PRNT} = \text{PN de ação
mais lenta}$**

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

1/2 antes da aração

1/2 após a aração incorporando com gradagem

Evitar incorporação superficial do calcário

Recomendação Válida

Sistema convencional de preparo do solo

Estabelecimento do plantio direto



Abertura de Área

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



Acidez do Solo e Calagem na Superfície

Deposição de resíduos orgânicos
Reação de adubos nitrogenados



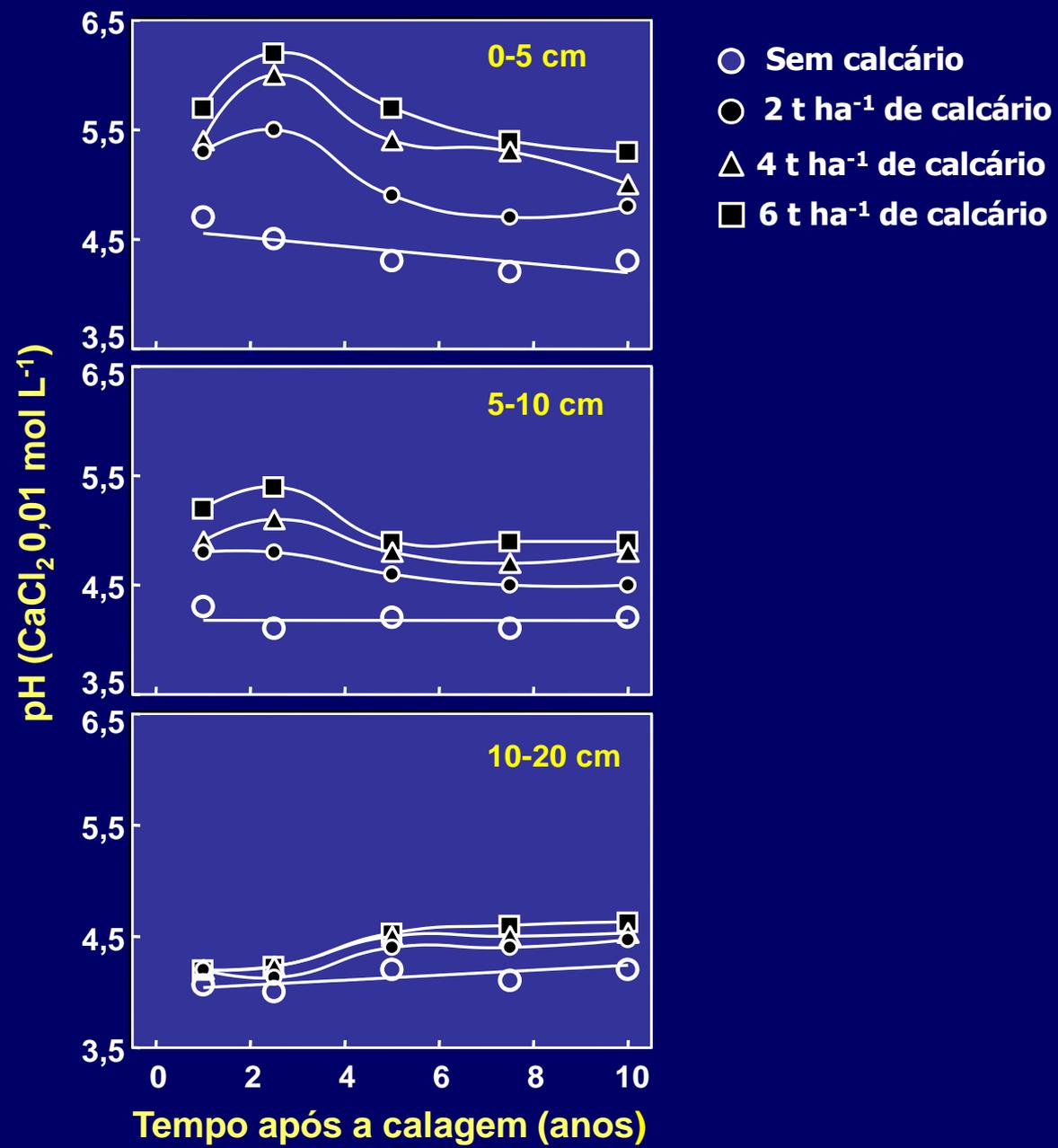
ACIDIFICAÇÃO DO SOLO

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

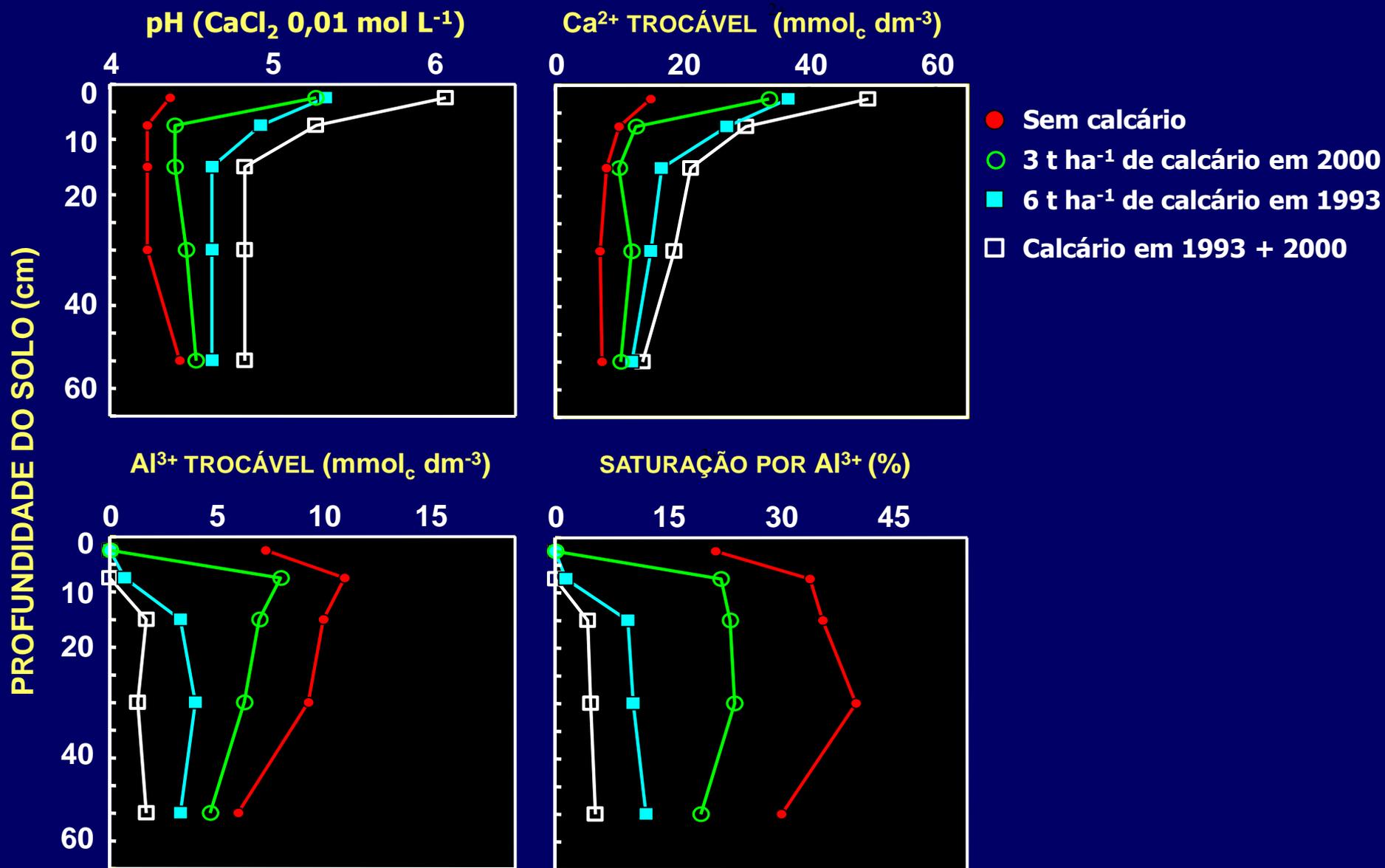
Calagem na superfície  **Dificuldades para a recomendação**

Estimativa da dose de calcário na superfície ???

Sistema Plantio Direto Estabelecido



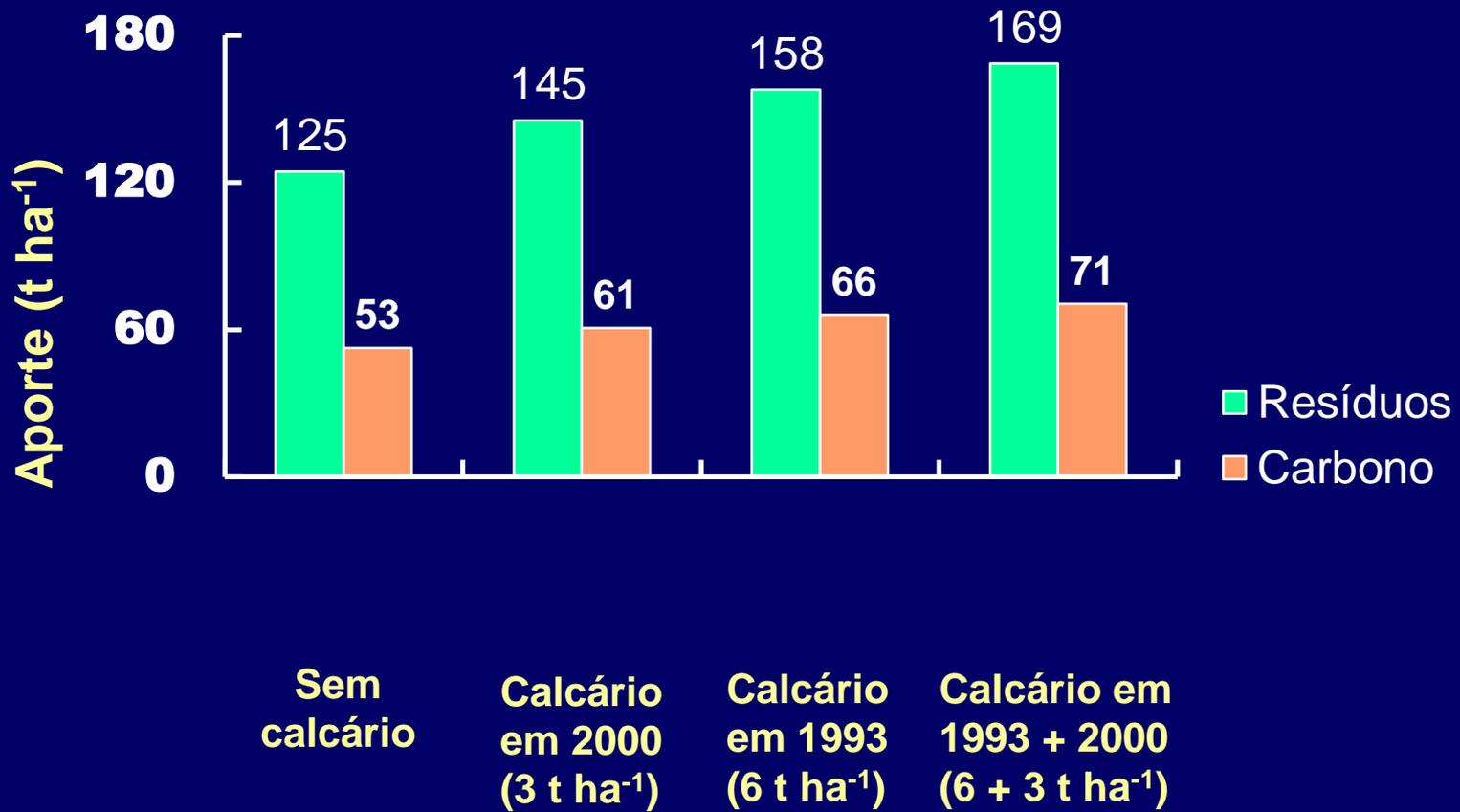
FONTE: Caires et al. (2005) - Agronomy Journal



Acidez ativa, Ca²⁺ trocável, Al³⁺ 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
 - ML^0** ou **ML^-** (M = Ca ou Mg) - mobilidade no solo
 - Subsolo: **M** - complexos orgânicos - deslocado pelo **Al^{3+}** :
complexos mais estáveis - redução acidez trocável



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-soja-aveia preta.

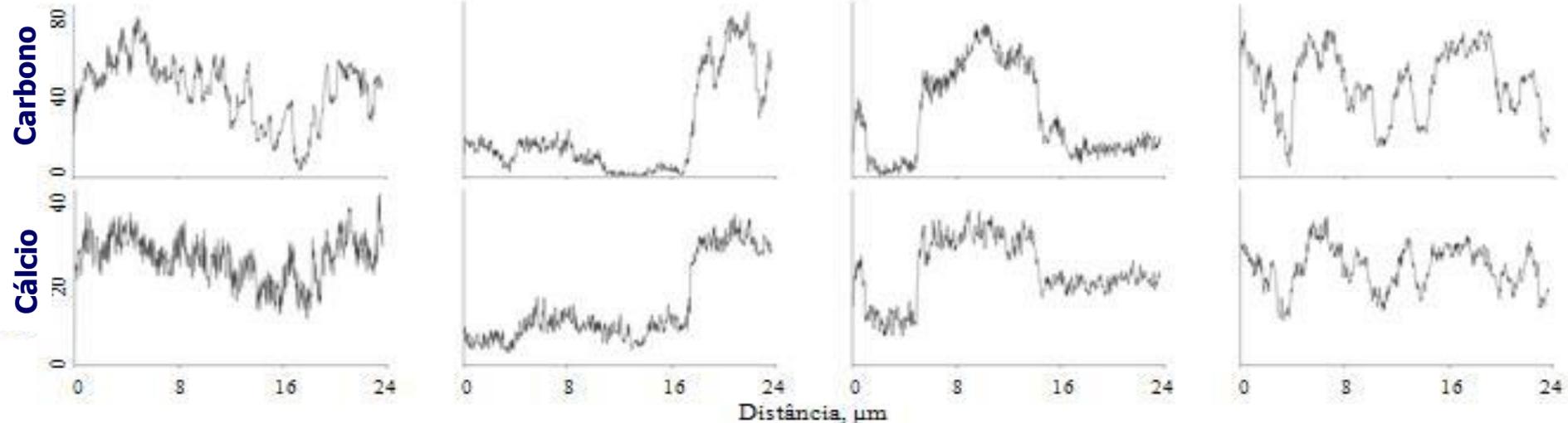
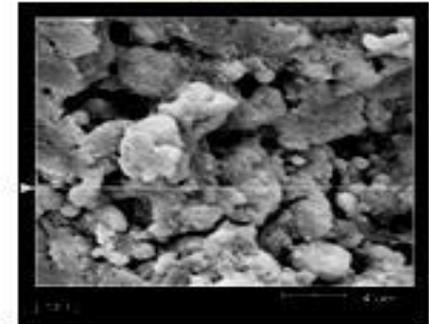
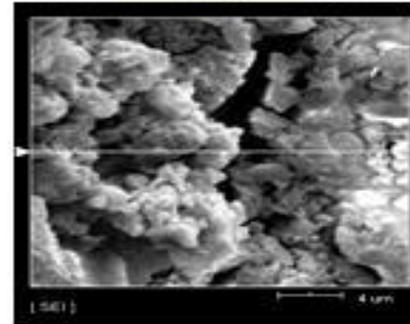
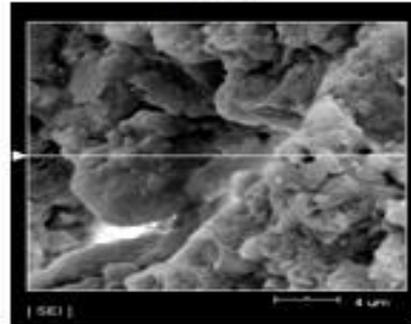
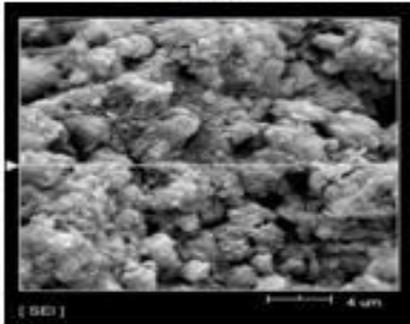
Calcário aplicado na superfície do solo ($t\ ha^{-1}$) em 1993 e 2000

(0 + 0)

(0 + 3)

(6 + 0)

(6 + 3)



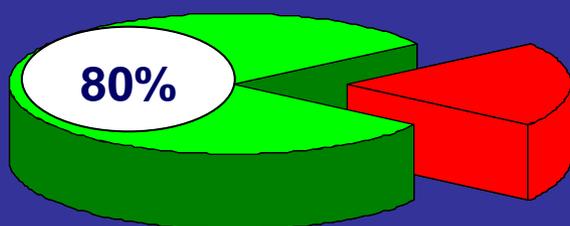
Caracterização de carbono (C) e cálcio (Ca) por meio de espectrômetro de dispersão de raios X na região central de agregados de tamanho 8-19 mm, considerando a calagem na superfície em um experimento de longa duração (15 anos) em plantio direto. Os agregados foram coletados em 2008.

Espécies e atividade de Al na solução do solo de acordo com o sistema de manejo

Espécie/atividade	Plantio Direto	Convencional
Espécies		%
Al ³⁺	2,5	4,0
AlOH ²⁺	1,6	2,6
Al(OH) ₂ ⁺	25,0	42,0
Al(OH) ₃ ⁰	0,7	1,3
Al(OH) ₄ ⁻	< 0,1	< 0,1
AlSO ₄ ⁺	0,2	0,6
AlH ₂ PO ₄ ²⁺	< 0,1	< 0,1
Al-Ligante orgânico	70,0	49,0
Atividade do Al (mol L⁻¹)	5,7 x 10⁻⁶	1,0 x 10⁻⁵

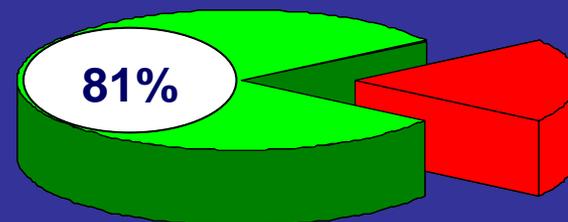
Distribuição relativa do Al complexado com ânions orgânicos de alta e baixa massa molecular na solução de solos sob plantio direto

MATO GROSSO
Rondonópolis



 Alta Massa Molecular

PARANÁ
Ponta Grossa



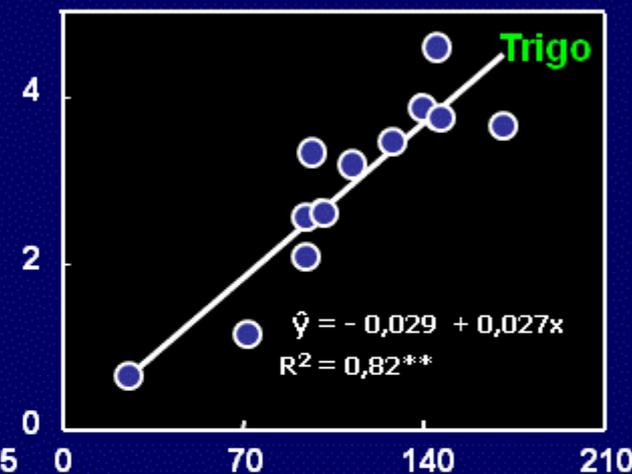
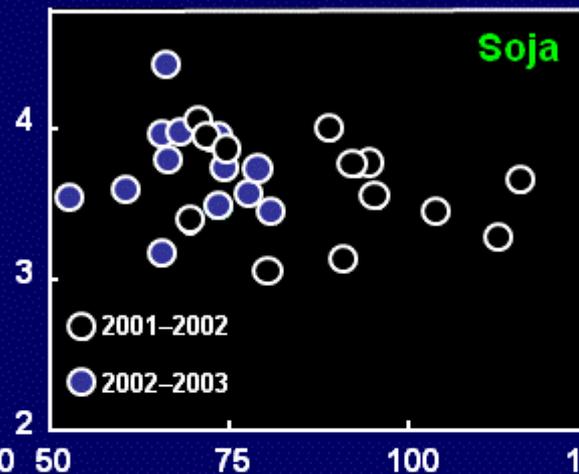
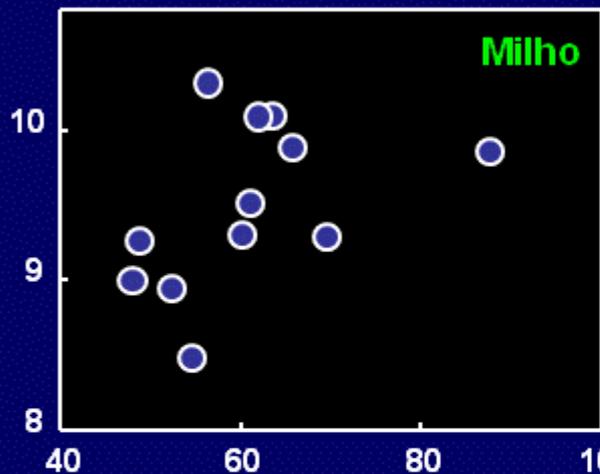
 Baixa Massa Molecular

Sem limitação hídrica

Sem limitação hídrica

Com limitação hídrica

Produção (t ha⁻¹)



Comprimento radicular (cm cm⁻²)

Produção de milho, soja e trigo em sistema plantio direto influenciada pelo comprimento radicular por unidade de área superficial de solo até a profundidade de 60 cm. **: $P < 0,01$.

FONTE: Caires et al. (2008) – European Journal of Agronomy

P32R22

SEM DEFICIÊNCIA HÍDRICA



P32R22

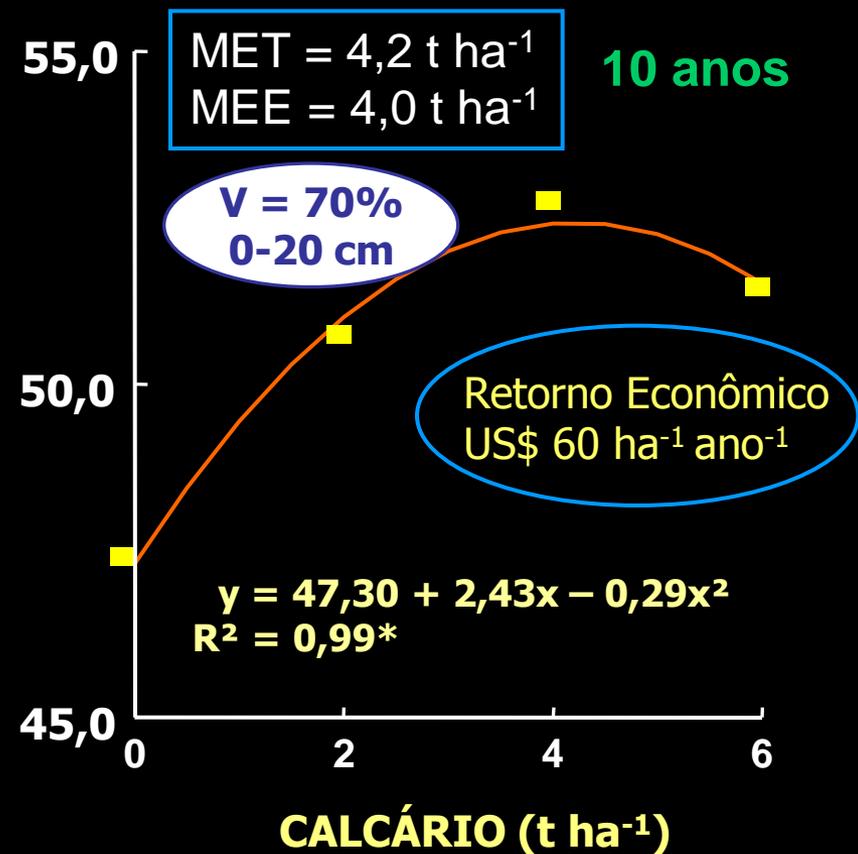
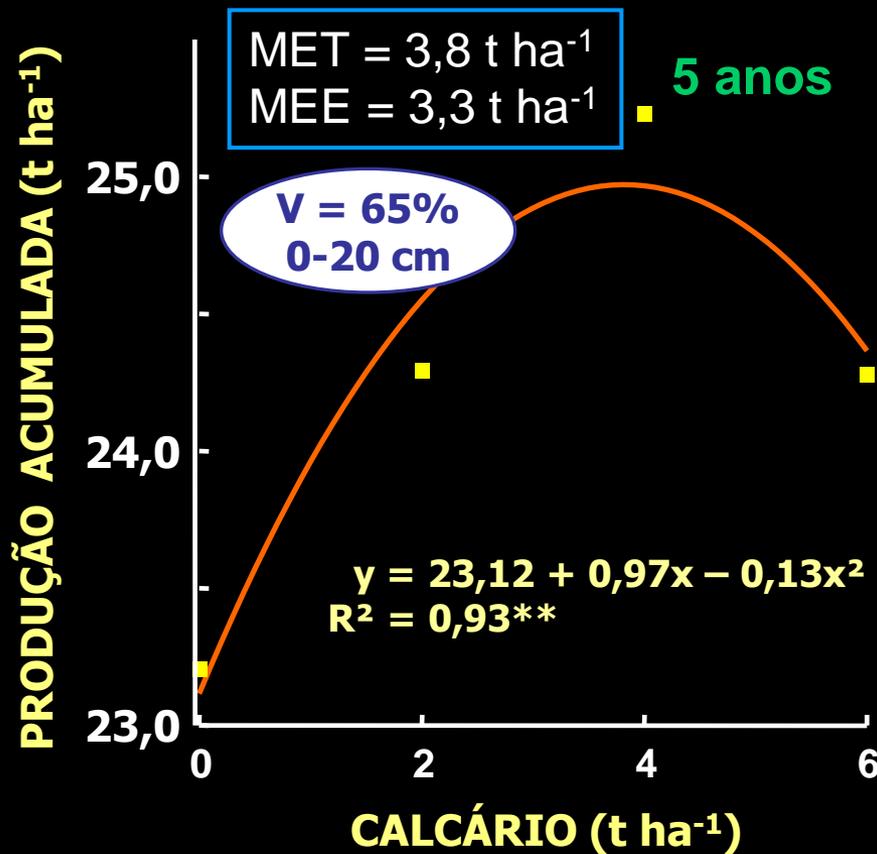
COM DEFICIÊNCIA HÍDRICA



Plantas expostas à seca em plantio direto são mais afetadas pela toxicidade do Al

FONTE: Joris, Caires, Bini et al. (2013) – Plant Soil

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

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

² Dose total de calcário sobre a superfície em uma única aplicação.

³ Valor t⁻¹: soja \$163,00, cevada \$96,70, trigo \$116,70 e milho \$88,30.

⁴ Custo t⁻¹: \$10,00.

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

⁶ 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

0–5 cm

0–10 cm

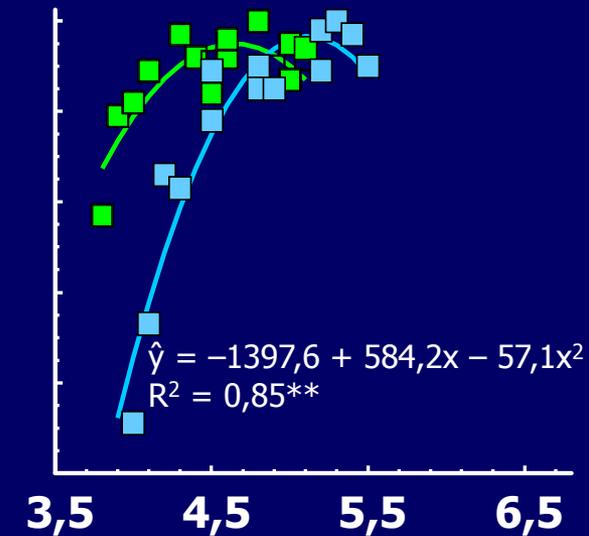
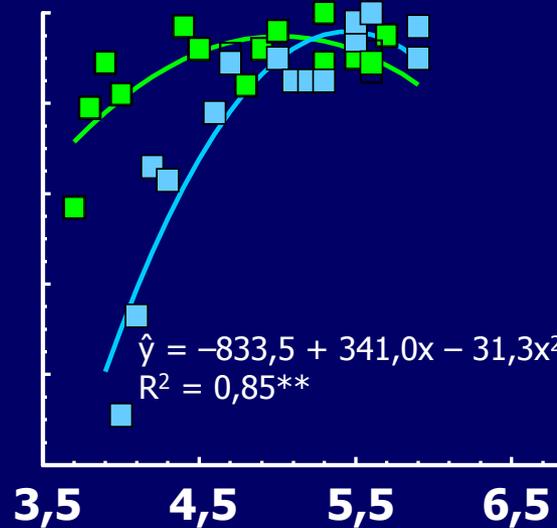
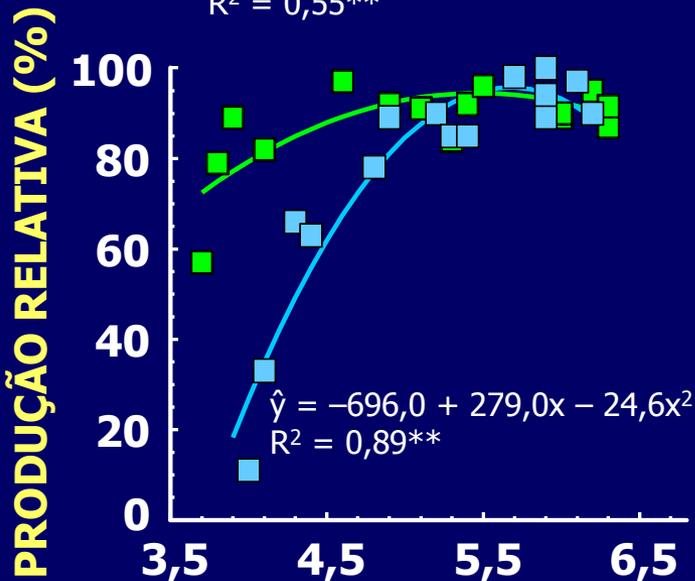
0–20 cm

■ Soja
■ Milho

$$\hat{y} = -116,1 + 77,1x - 7,0x^2$$
$$R^2 = 0,55^{**}$$

$$\hat{y} = -245,2 + 135,6x - 13,5x^2$$
$$R^2 = 0,58^{**}$$

$$\hat{y} = -735,9 + 357,6x - 38,5x^2$$
$$R^2 = 0,69^{**}$$



pH_{CaCl₂} do solo

Relações entre a produção relativa de grãos de soja e milho e o pH (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹) do solo, nas profundidades de 0-5 cm, 0-10 cm e 0-20 cm. ***P* < 0,01.

FONTE: Adaptado de Caires et al. (2009) – Congresso Latinoamericano de Ciência do Solo

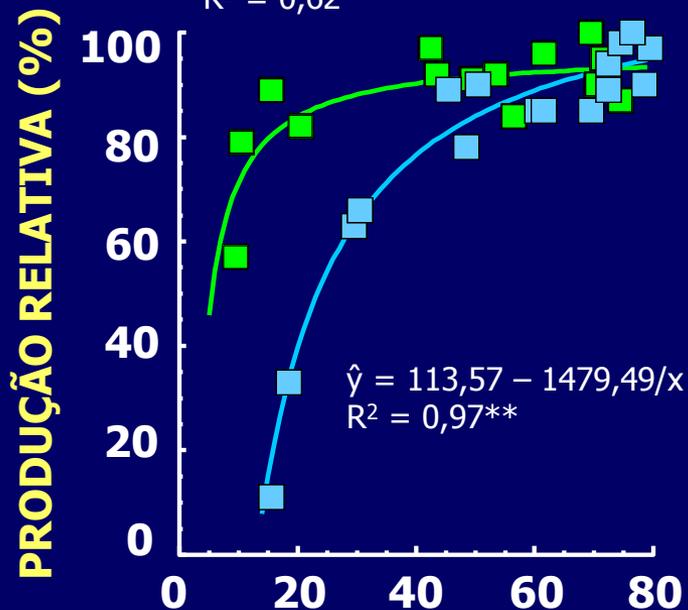
0-5 cm

0-10 cm

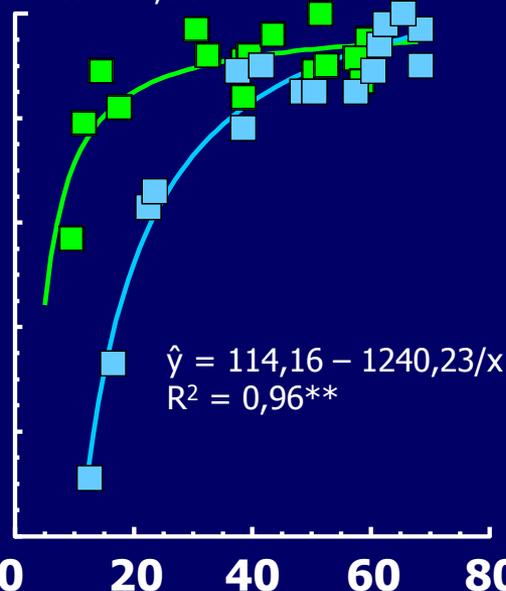
0-20 cm

■ Soja
■ Milho

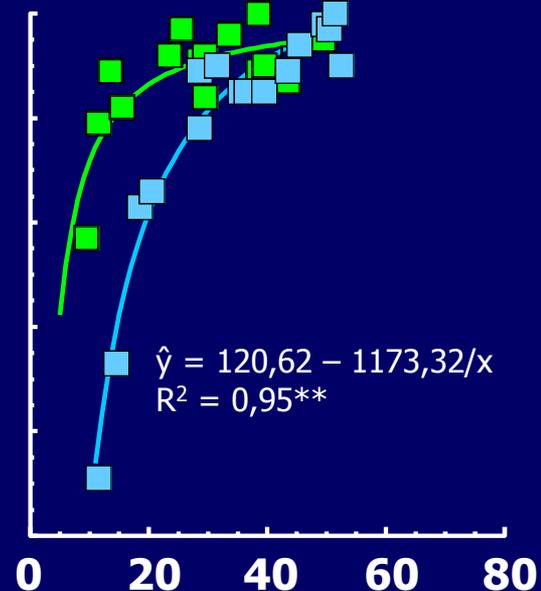
$$\hat{y} = 96,57 - 253,10/x$$
$$R^2 = 0,62^{**}$$



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



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



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%

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

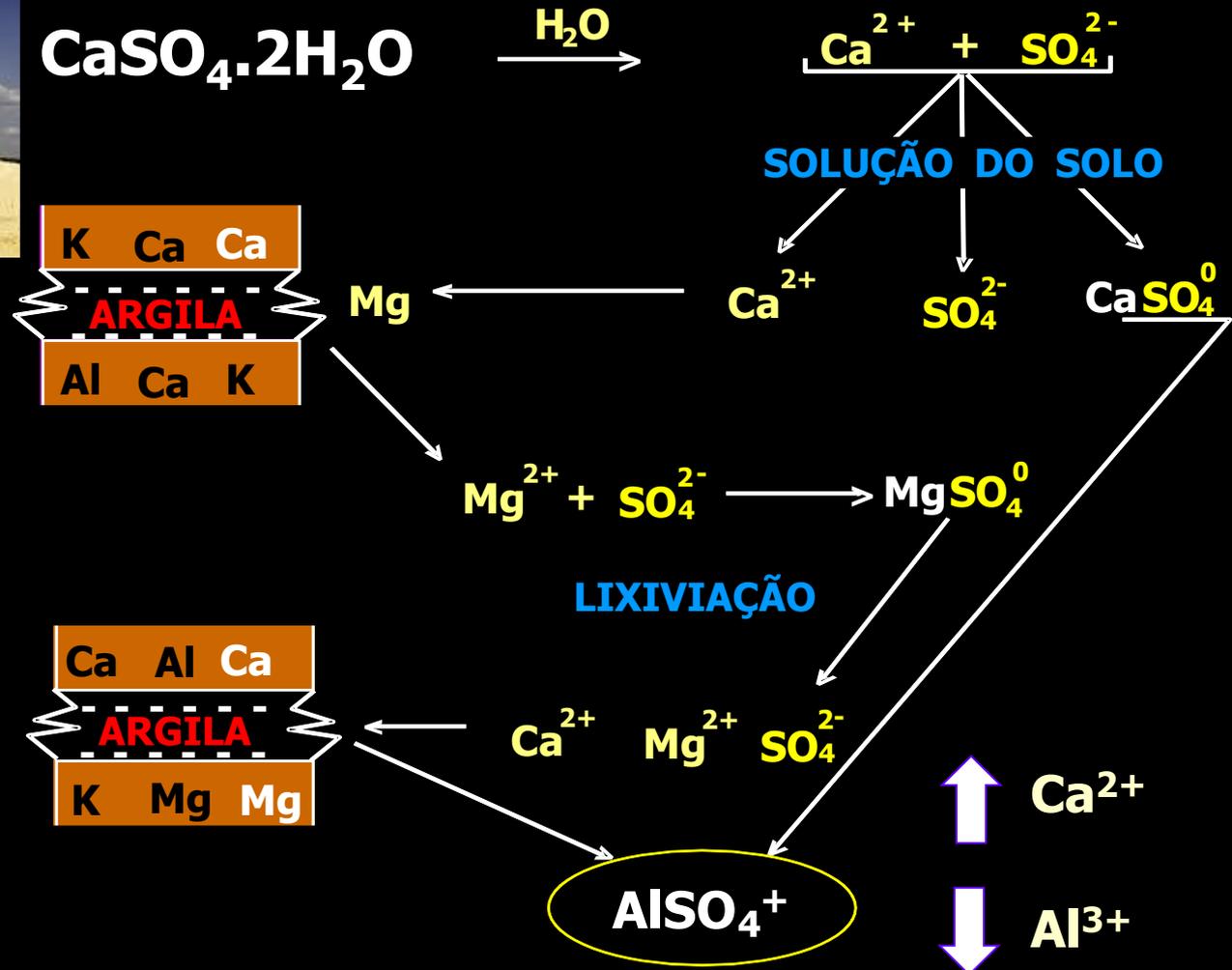
A calagem na superfície somente deve ser recomendada para solo com $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} < 5,6$ ou saturação por bases $< 65\%$ na profundidade de 0–5 cm

O monitoramento da acidez na camada superficial do solo (0–5 cm) serve para auxiliar a avaliação da frequência da aplicação de calcário na superfície

Mecanismo de Ação do Gesso

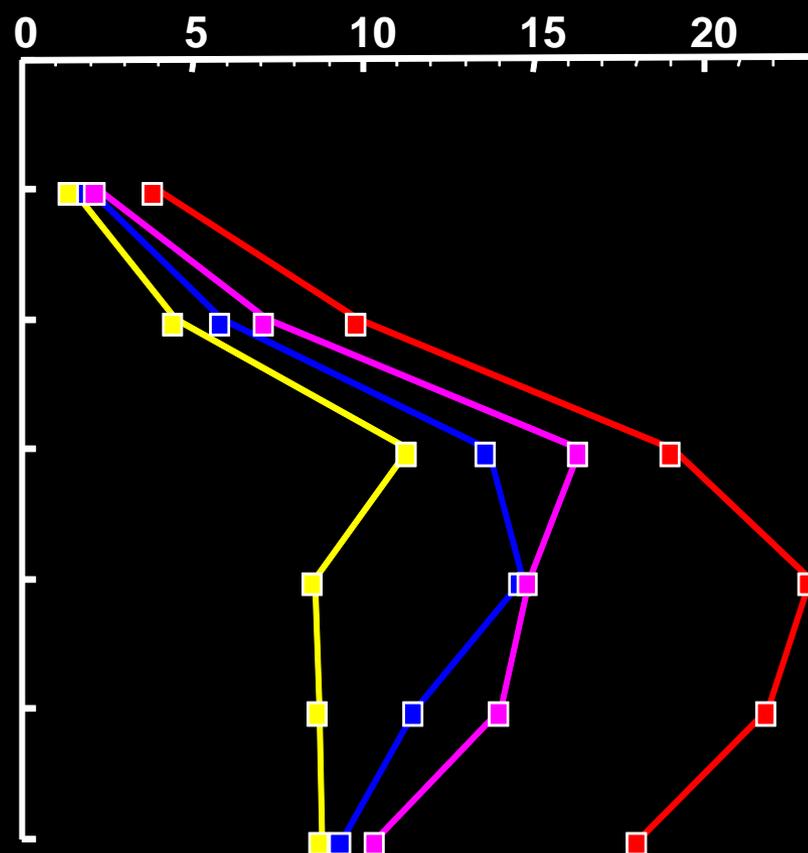
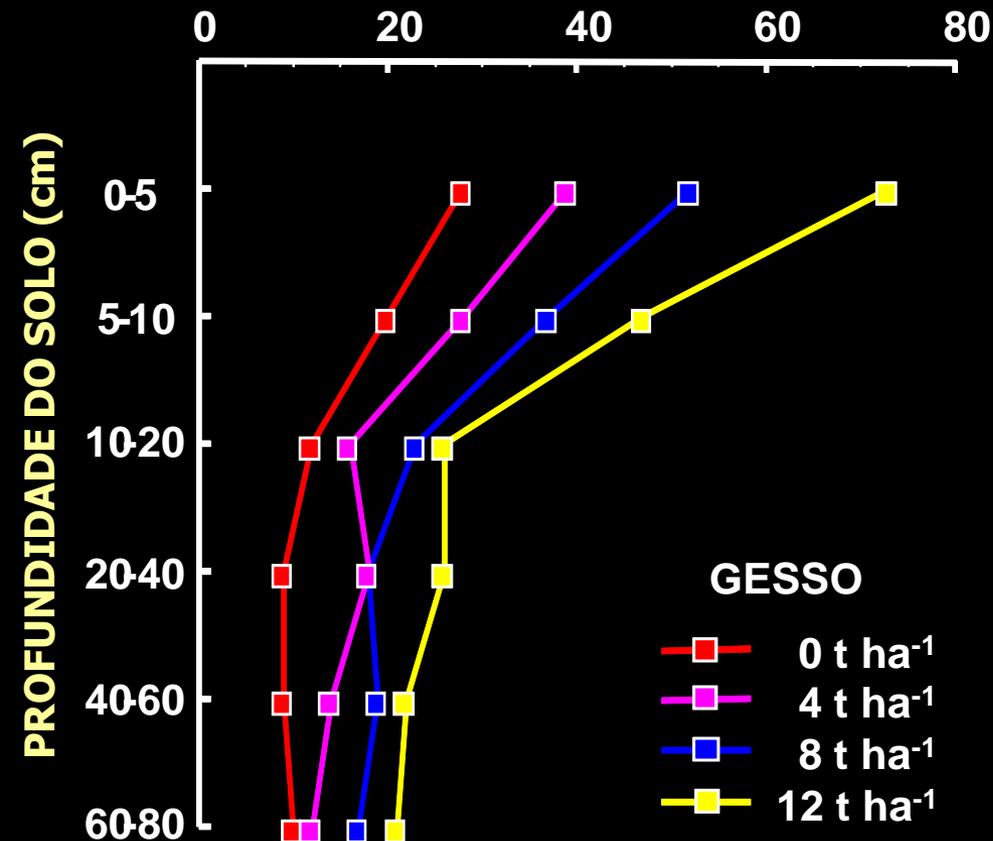


Gesso Agrícola

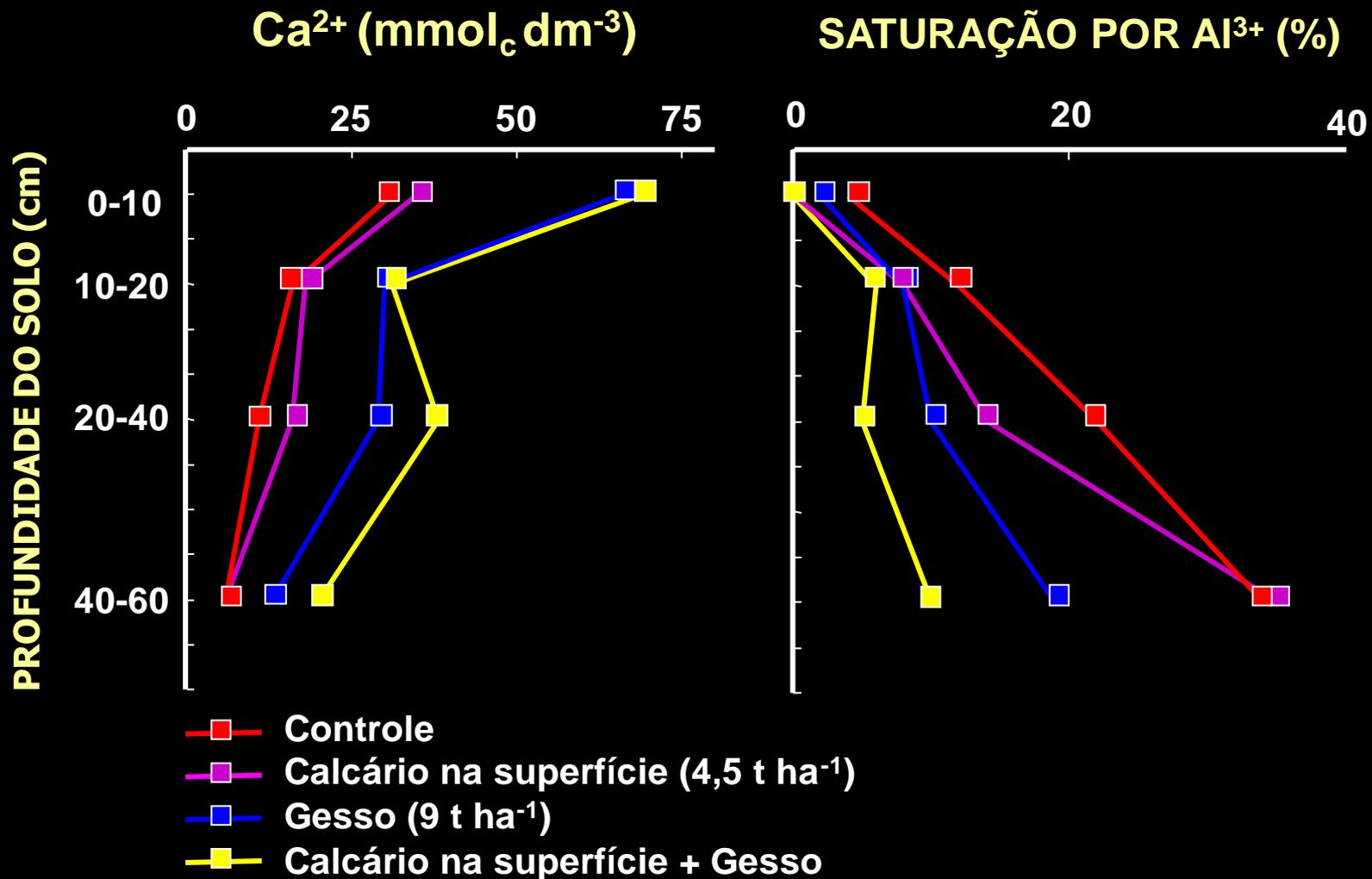


Ca^{2+} ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)

SATURAÇÃO POR Al^{3+} (%)



Efeito da aplicação de gesso, após 14 meses, sobre o teor de Ca^{2+} trocável e a saturação por Al^{3+} de um LV textura média manejado no sistema plantio direto.

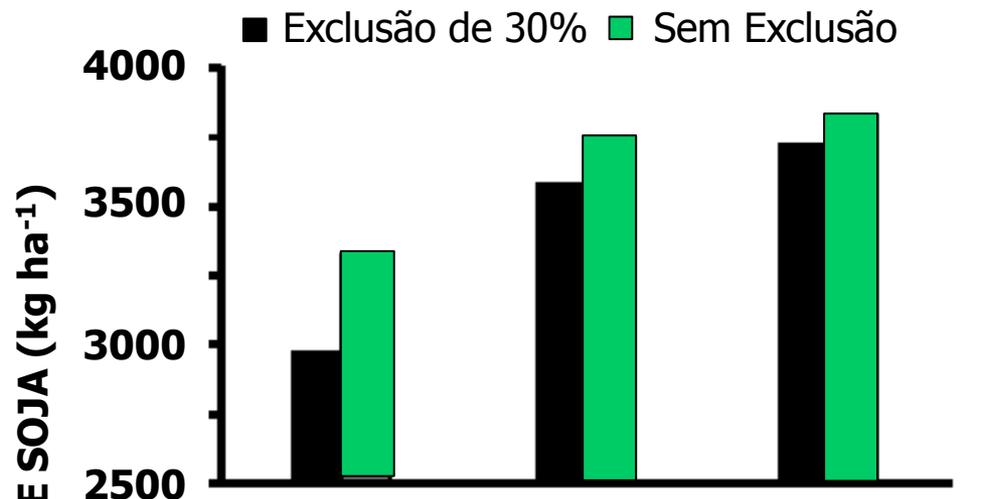


Efeito da calagem superficial, após 11 meses, e da aplicação de gesso, após 8 meses, sobre o Ca²⁺ trocável e a saturação por Al³⁺ de um LV textura argilosa manejado no sistema plantio direto.

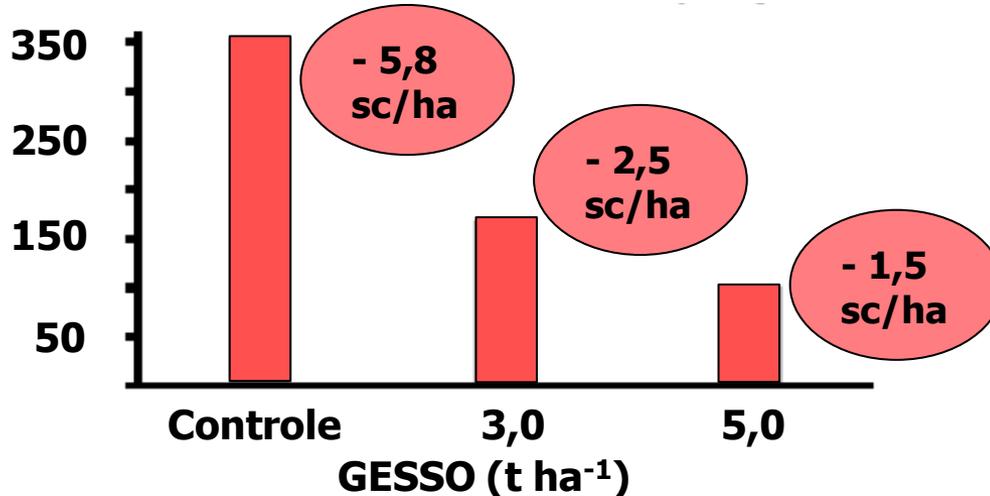
GESSO



Reduz perdas na produção de soja causadas pela seca



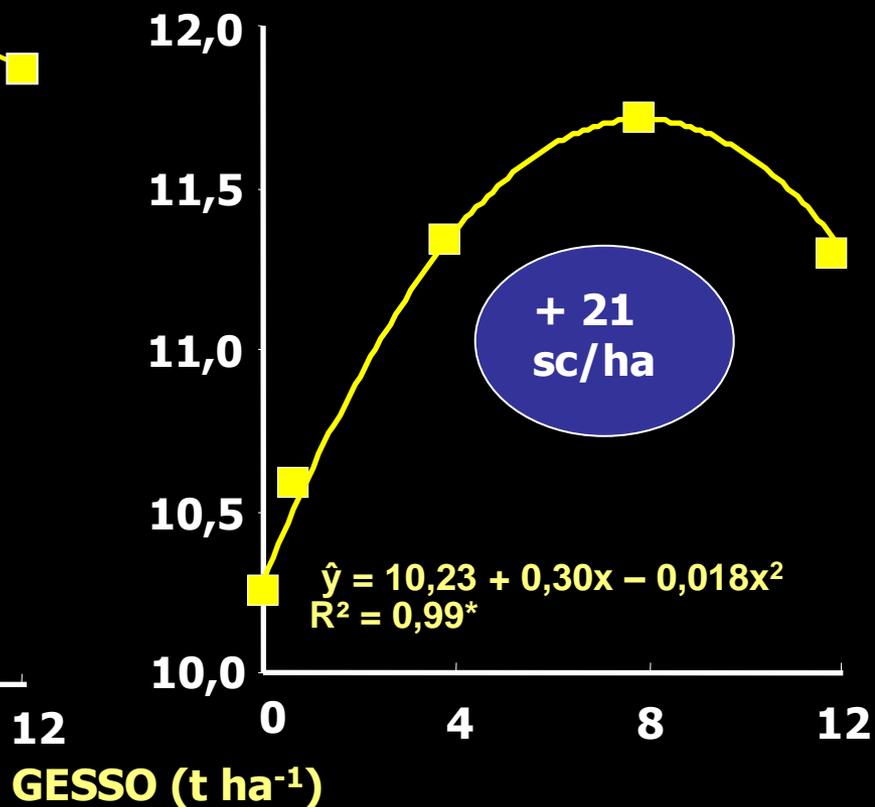
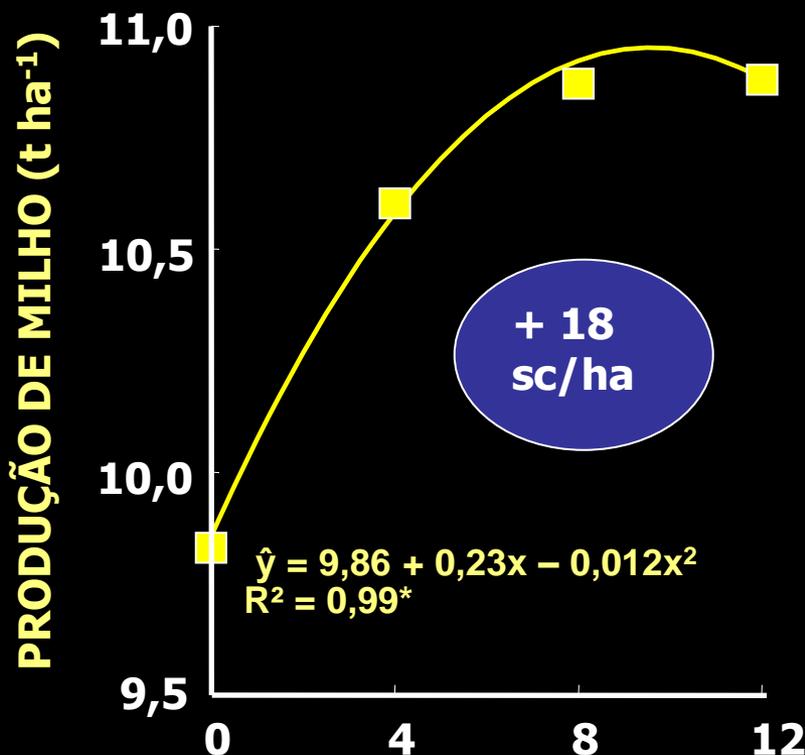
Decréscimo na produção de soja induzido pela exclusão da precipitação



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 PLANTIO DIRETO



**Subsolo
com Al³⁺**

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

**Subsolo
sem Al³⁺**

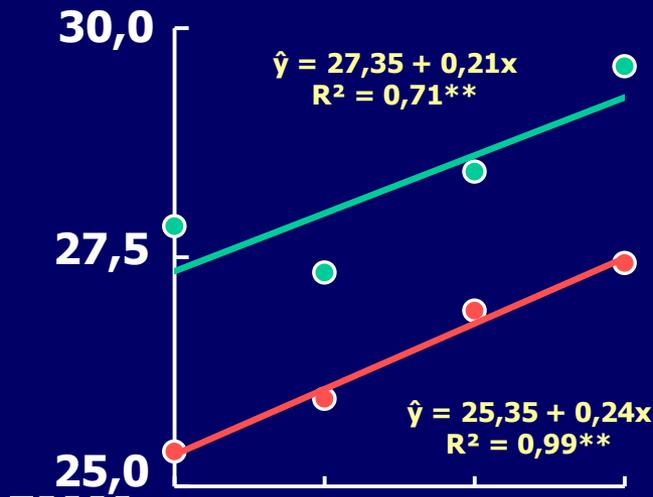
Guarapuava - PR
Produção de milho (2005/06)
Gesso aplicado em 2005
*: $P < 0,05$

PRODUÇÃO DE GRÃOS DE MILHO, TRIGO E SOJA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO E DA REAPLICAÇÃO DE GESSO EM UM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO

Tratamento	Milho (2004–2005)	Trigo (2005)	Soja (2005–2006)	Soja (2006–2007)	Milho (2007–2008)
Gesso - 1998 (t ha ⁻¹)					
	kg ha ⁻¹				
0	9719	1864	3479	2725	8945
3	9819	1942	3234	2723	8923
6	9934	2039	3282	2781	9634
9	10453	2089	3160	2666	10040
Efeito	+ 12 sc/ha L*	ns	ns	ns	+ 18 sc/ha L**
Reaplicação de gesso - 2004					
	kg ha ⁻¹				
Sem gesso	9558	1843	3238	2678	9117
Com 6 t ha ⁻¹	10404	2124	3340	2769	9654
Valor F	12,1**	8,2*	0,6ns	8,0*	7,6*
	+ 14 sc/ha	+ 5 sc/ha		+ 1,5 sc/ha	+ 9 sc/ha

*: $P < 0,05$ e **: $P < 0,01$

PRODUÇÃO ACUMULADA DE GRÃOS (t ha⁻¹)



GESSO em 2004

● Sem gesso

● 6 t ha⁻¹

LV (20–60 cm)

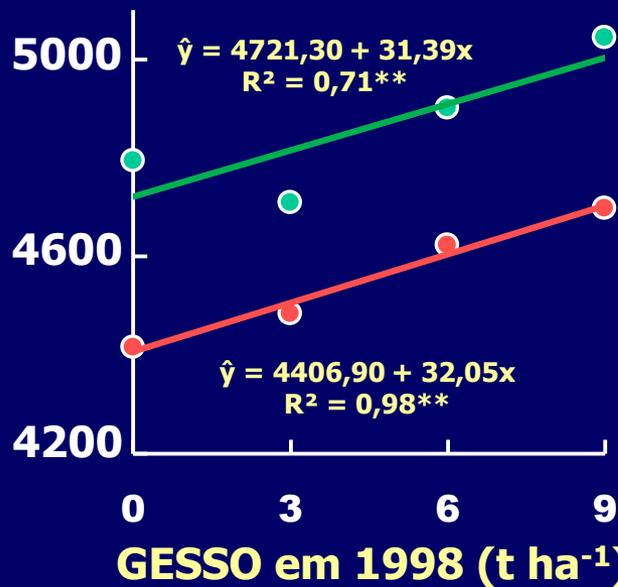
Argila = 610 g kg⁻¹

Ca ≥ 8 mmol_c dm⁻³

Al ≤ 4 mmol_c dm⁻³

m ≤ 15%

RECEITA BRUTA DAS CULTURAS (\$ ha⁻¹)



Retorno Econômico
US\$ 97,5 ha⁻¹

Produção acumulada de grãos e receita bruta das culturas no período de 2004 a 2008. Rotação: milho, trigo, soja, soja e milho. **: $P < 0,01$

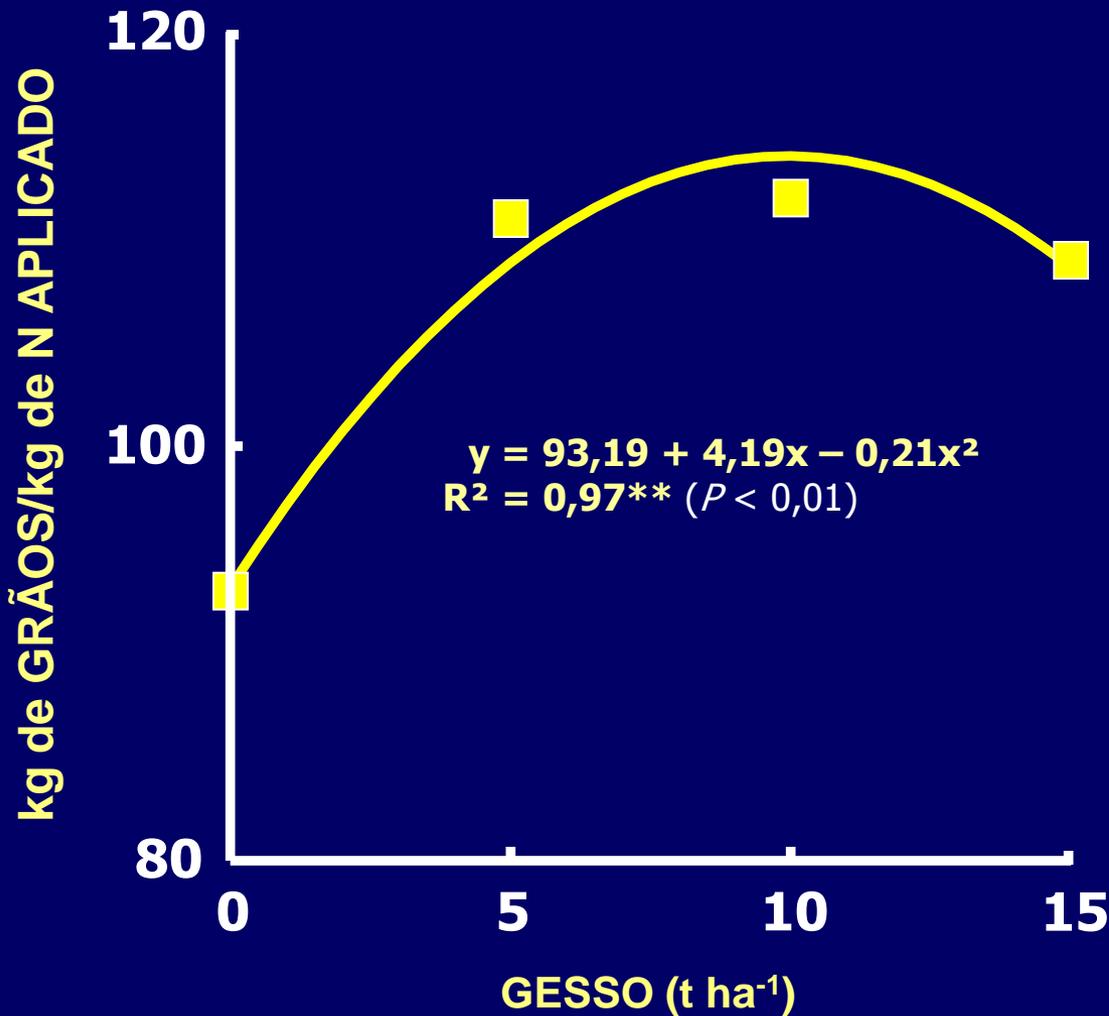
FONTE: Caires et al. (2011) – Agronomy Journal

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

Gesso: 2009



2009/10



LV (40–60 cm)

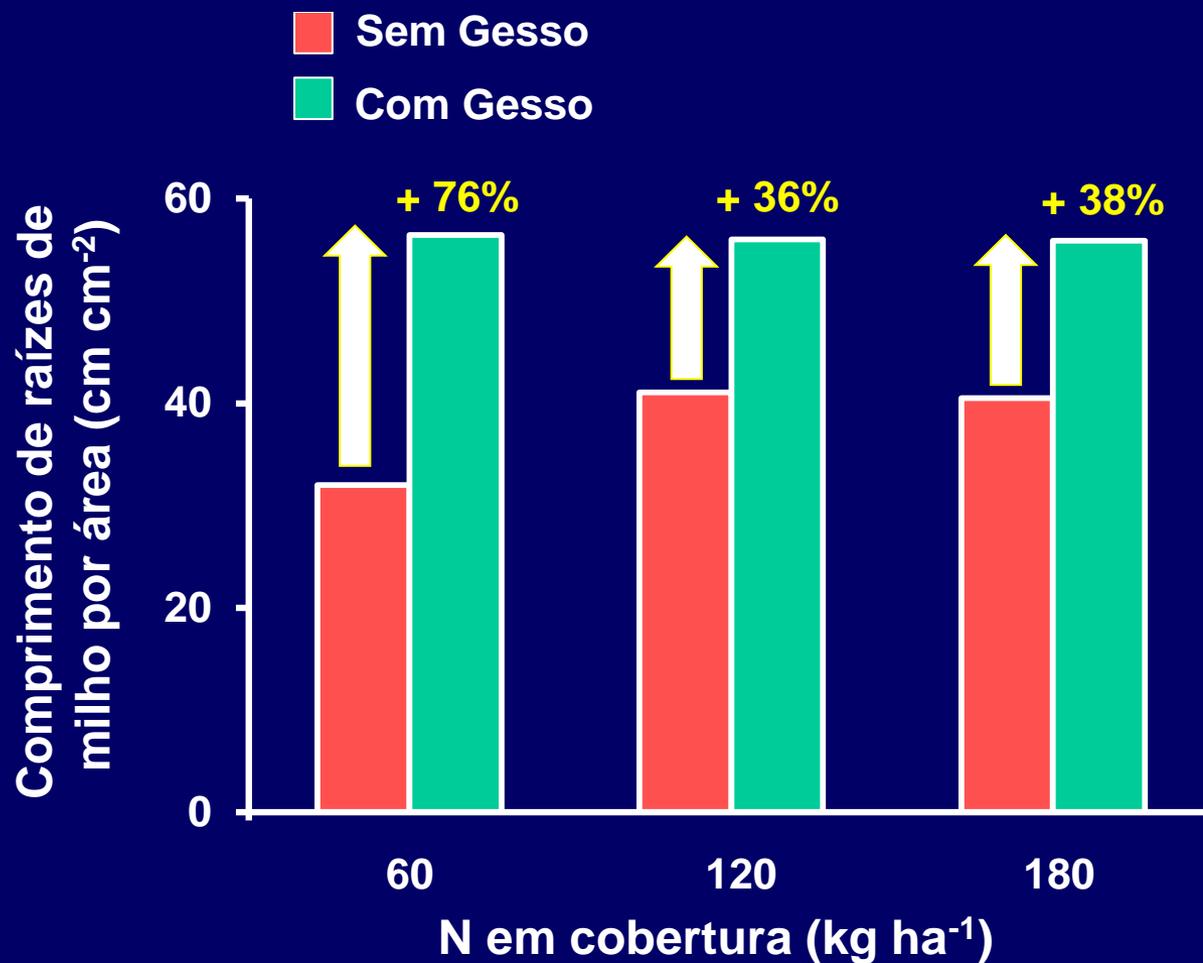
Argila = 760 g kg⁻¹

Ca = 11 mmol_c dm⁻³

Al = 13 mmol_c dm⁻³

m = 39%

+ 22,5%



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⁻¹ de N em cobertura.

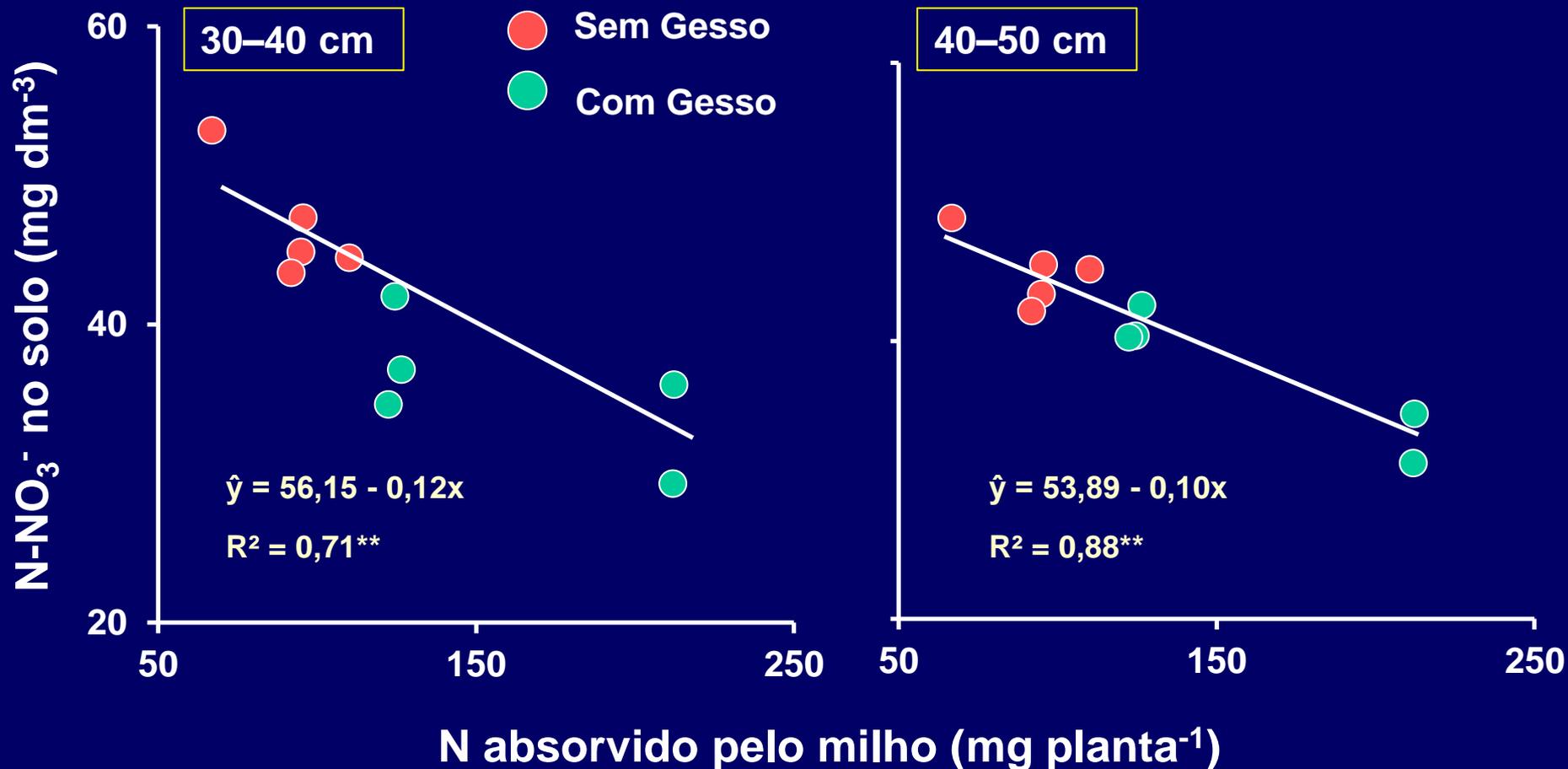
SEM GESSO

Sem cobertura nitrogenada 180 kg ha⁻¹ N em cobertura

COM GESSO

Sem cobertura nitrogenada 180 kg ha⁻¹ N em cobertura





Relações entre o teor de N-NO₃⁻ no solo, nas profundidades de 30–40 cm e 40–50 cm, e a quantidade de N absorvida pela parte aérea do milho. ** P < 0,01.

Definição da Dose de Gesso Agrícola

Camada diagnóstica: 20–40 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

$\text{NG (kg/ha)} = 5 \times \text{Argila (g/kg)}$

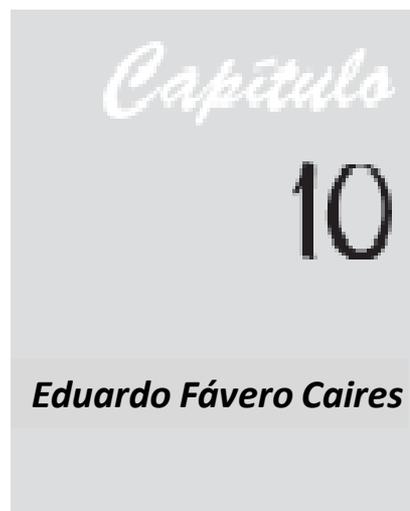
Saturação por Bases

$\text{NG (t/ha)} = (50 - V\%) \times \text{CTC}/50$



CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Eduardo Fávero Caires



MANEJO DA ACIDEZ DO SOLO

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 no Brasil deverá ser ampliada consideravelmente até 2020.

A correção do perfil do solo para o adequado crescimento do sistema radicular é de primordial importância para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes e a produção agrícola.

MUITO OBRIGADO



Laboratório de Fertilidade do Solo

Eduardo Fávero Caires

Tel. (42) 3220-3091

E-mail: efcaires@uepg.br