

V Simpósio Regional • IPNI Brasil

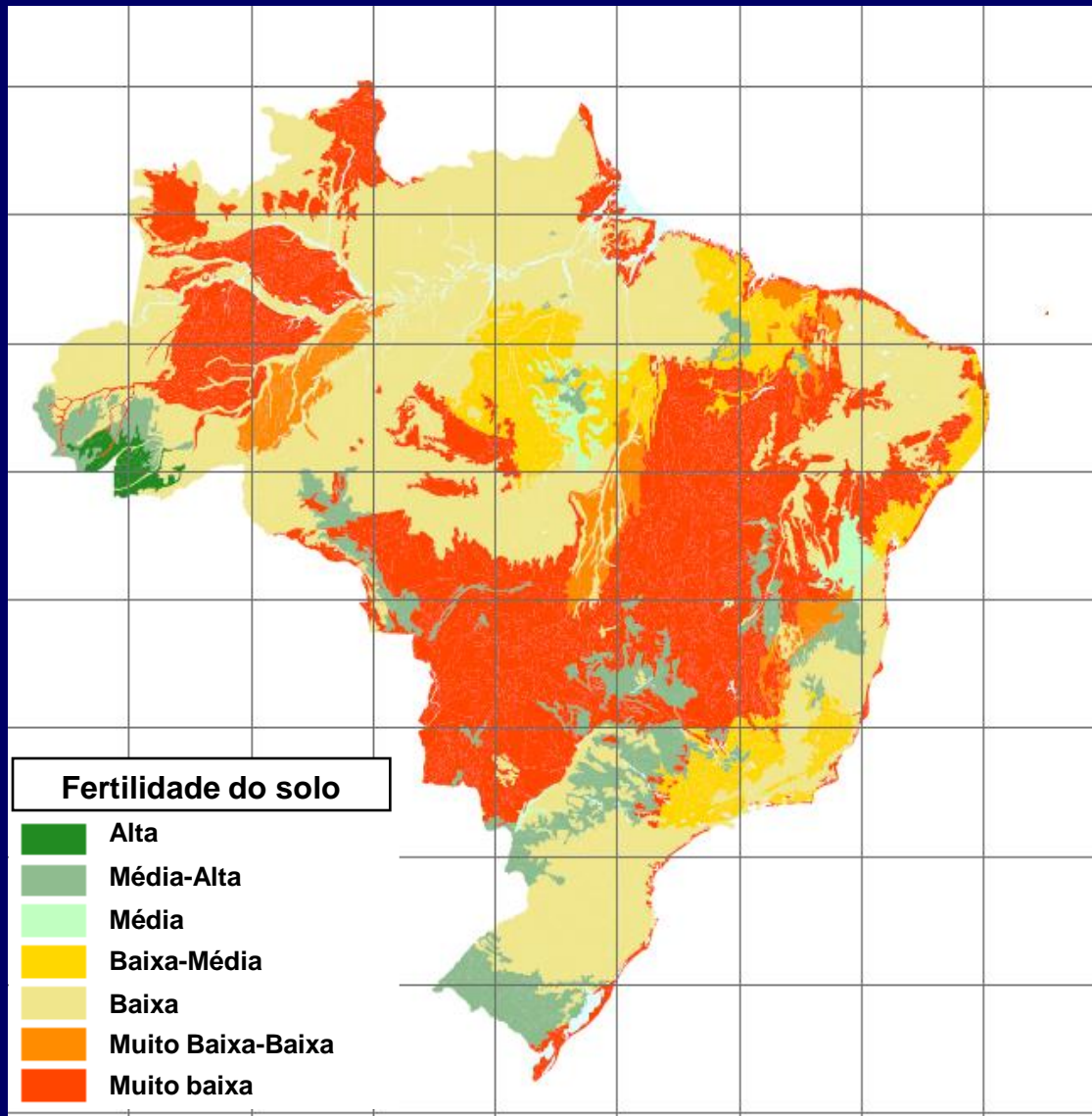
BOAS PRÁTICAS PARA USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES

Rio Verde - GO • 28 e 29 de Maio de 2013

Manejo da Acidez do Solo em Sistema Plantio Direto já Estabelecido

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
50 milhões ha**

**Sistema Plantio Direto
30 milhões ha (60%)**

Maior sustentabilidade da agricultura em regiões tropicais e subtropicais

Sistema Plantio Direto



Complexo ordenado de práticas agrícolas que incluem, além do não revolvimento do solo, a rotação diversificada de culturas e o uso de plantas de cobertura para formar e manter os resíduos vegetais na superfície do solo

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



AS RAÍZES NÃO SE DESENVOLVEM BEM EM SOLOS ÁCIDOS

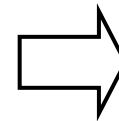
Falta de Ca

Severas restrições ao crescimento radicular

Excesso de Al

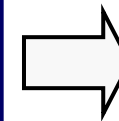
As raízes se tornam mais lentas em alongar, engrossam e não se ramificam normalmente. Prejudica a absorção de N, P, Ca e Mg pelas plantas

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

Sistema Plantio Direto Já Estabelecido

Calcário na Superfície sem Incorporação

GESSO AGRÍCOLA



Melhoria das condições químicas nas camadas do subsolo

Redução da toxicidade por Al
Aumento do teor de Ca

Acidez do Solo e Calagem na Superfície

Deposição de resíduos orgânicos
Reação de adubos nitrogenados



ACIDIFICAÇÃO DO SOLO

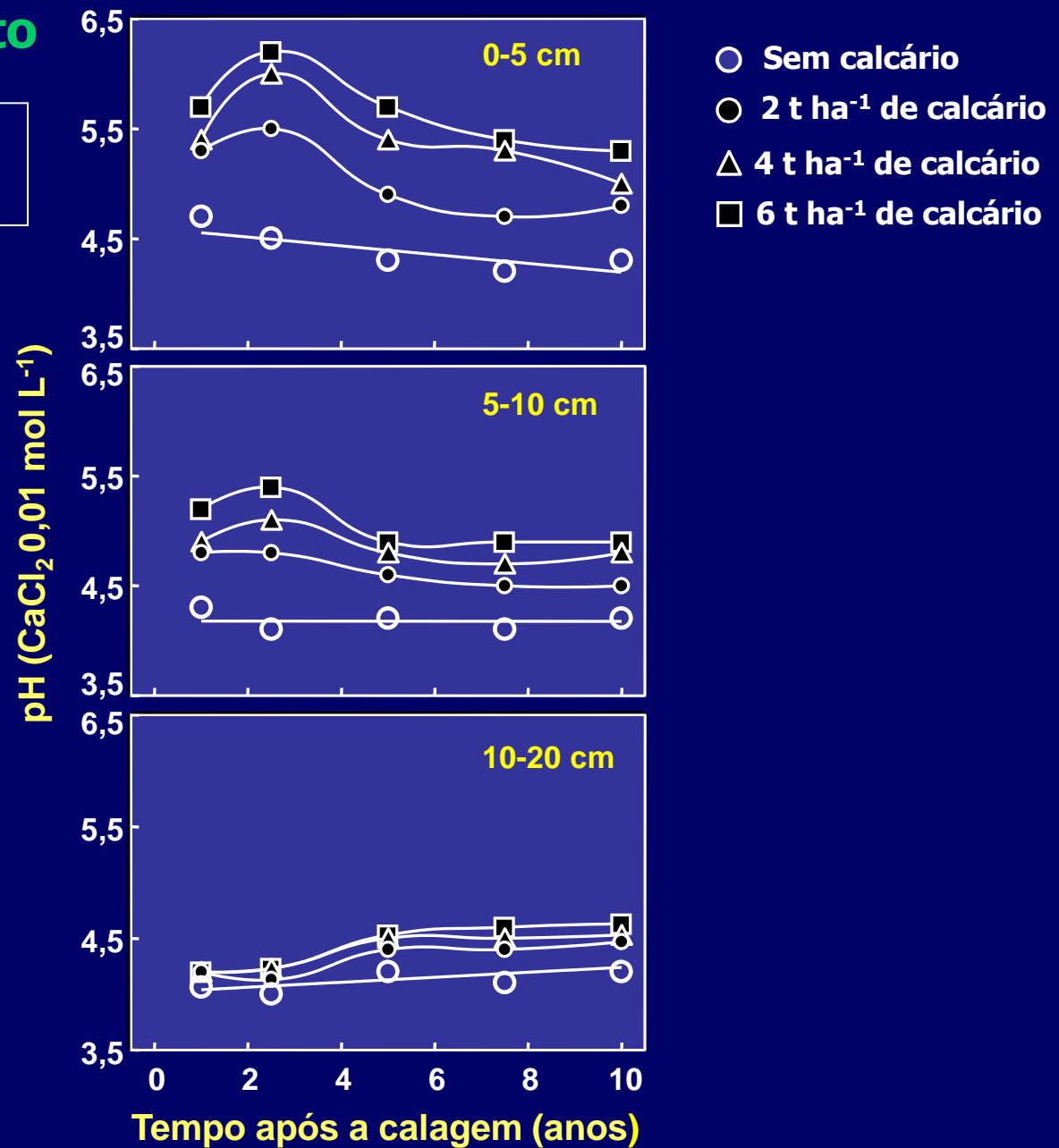
Diminuição do pH  **Aumento do Al trocável e da N.C.**

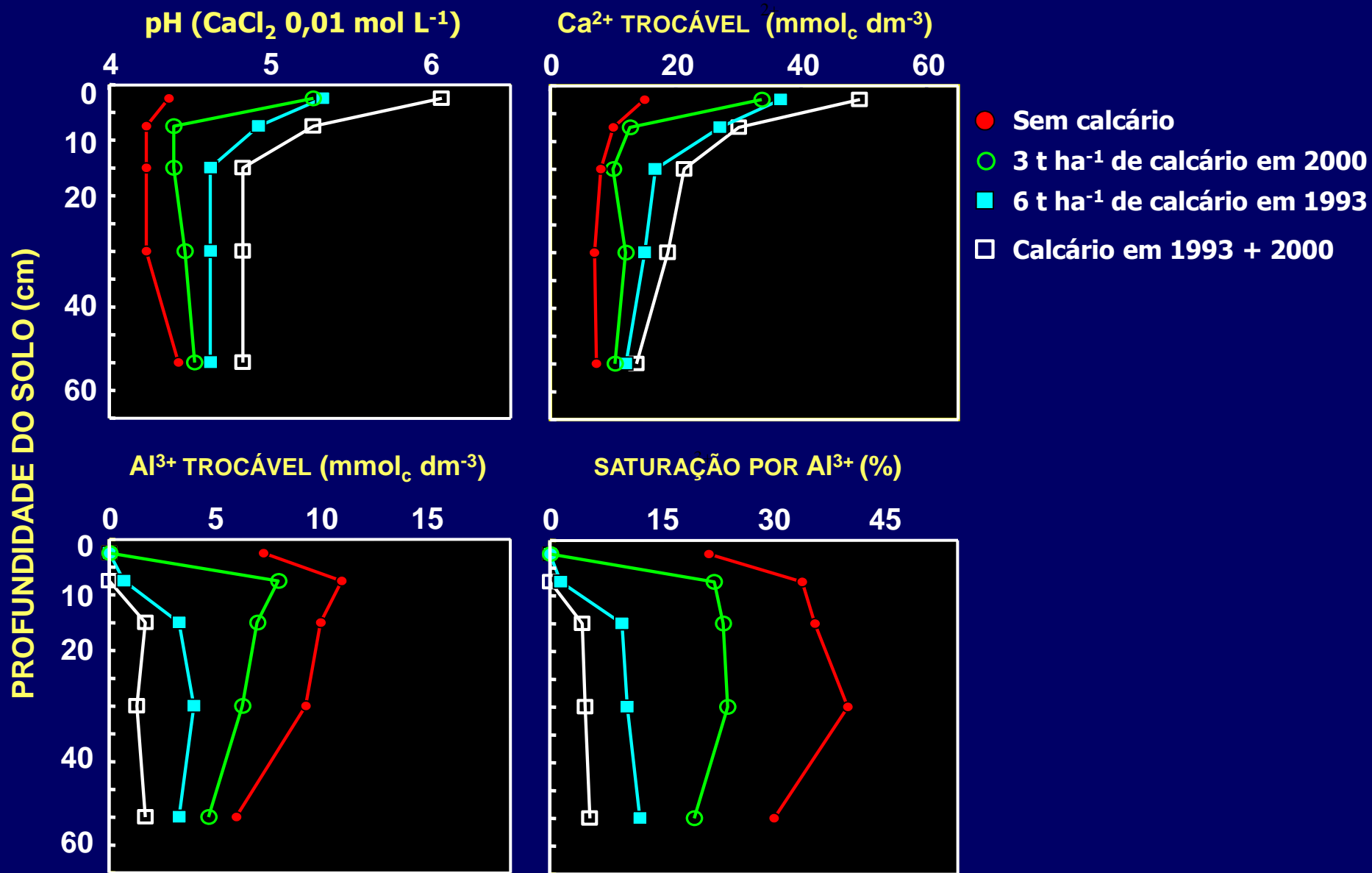
Calagem na superfície  **Dificuldades para a recomendação**

Estimativa da dose de calcário na superfície ???

Sistema Plantio Direto

Formação e migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$

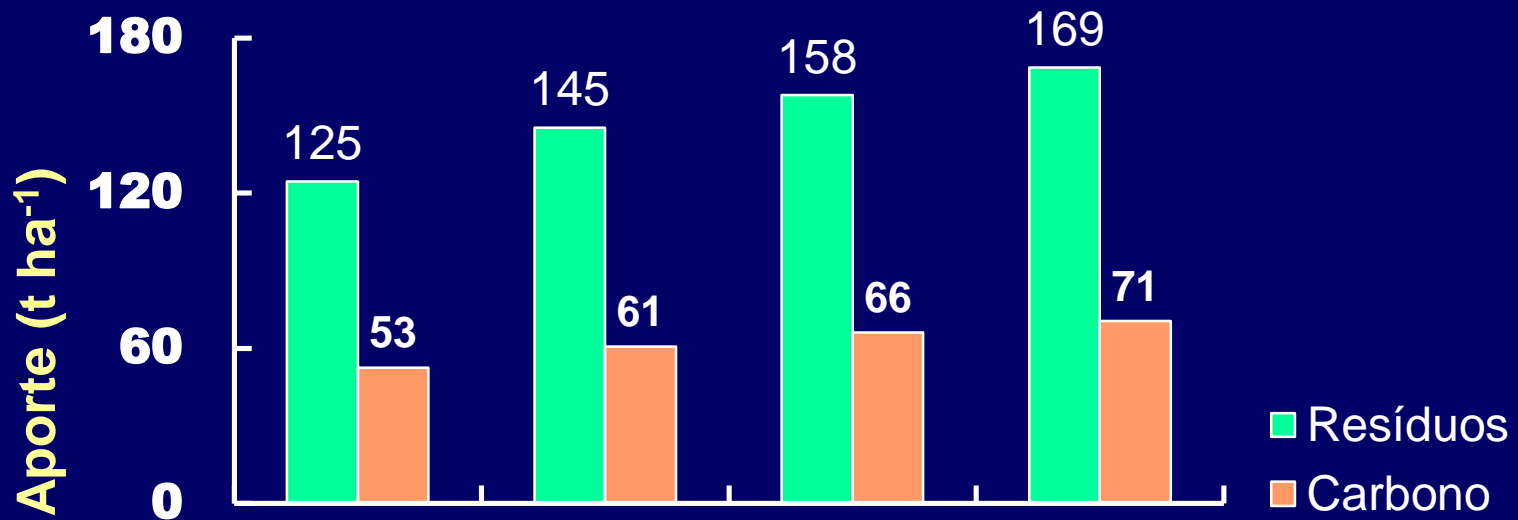




Acidez ativa, Ca²⁺ trocável, Al³⁺ trocável e saturação por alumínio no perfil do solo. Calcário aplicado na superfície em sistema plantio direto. Solo amostrado em 2003.

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



**Sem
calcário**

**Calcário
em 2000
(3 t ha⁻¹)**

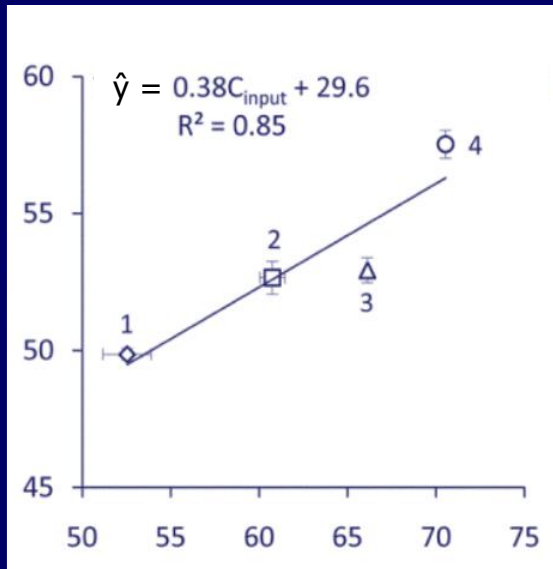
**Calcário
em 1993
(6 t ha⁻¹)**

**Calcário em
1993 + 2000
(6 + 3 t ha⁻¹)**

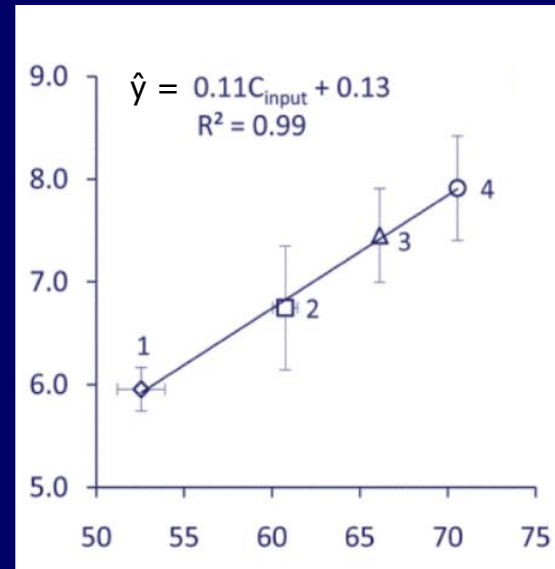
■ Resíduos
■ Carbono

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-soja-aveia preta.

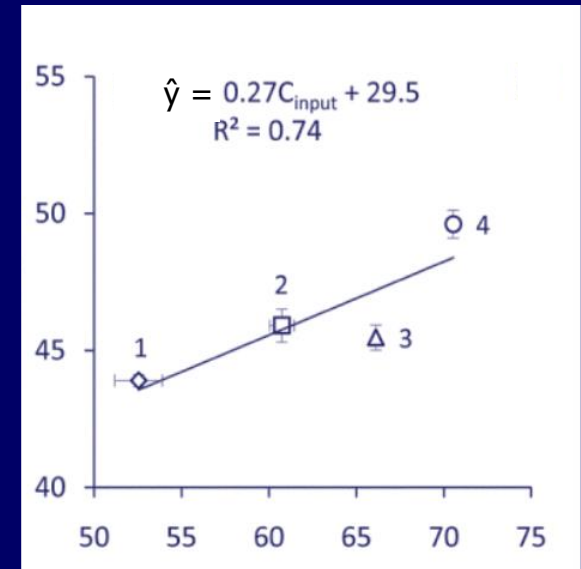
COT (t ha⁻¹)



COP (t ha⁻¹)



COAM (t ha⁻¹)



1 = Sem calcário 2 = Calcário em 1993 (6 t ha⁻¹) 3 = Calcário em 2000 (3 t ha⁻¹) 4 = Calcário em 1993 + 2000 (6 + 3 t ha⁻¹)

Aporte (input) Total de C (t ha⁻¹)

Relações entre os estoques de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM), na camada de 0–20 cm, e o aporte total de carbono das culturas, considerando a calagem na superfície em um experimento de longa duração (15 anos) em plantio direto.

Sequência de culturas: soja-aveia preta + ervilhaca-milho-aveia preta-soja-trigo-soja-triticale-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.

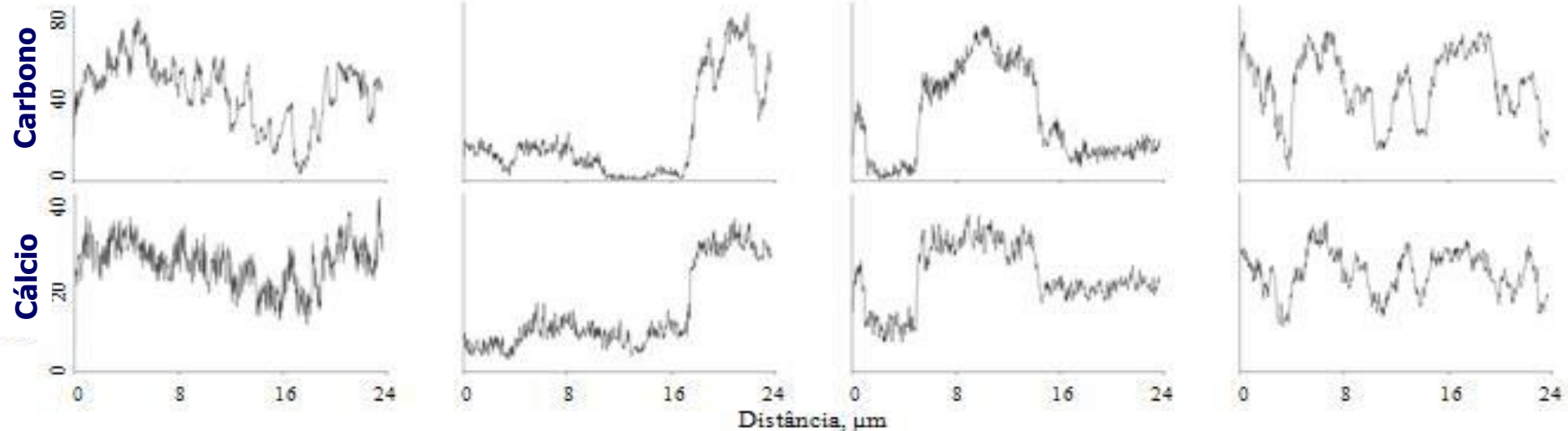
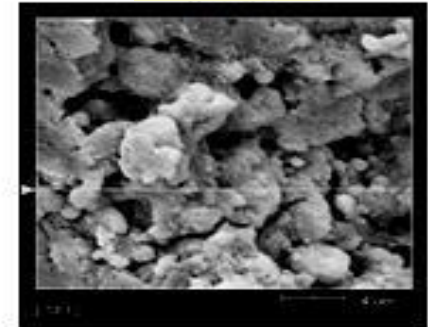
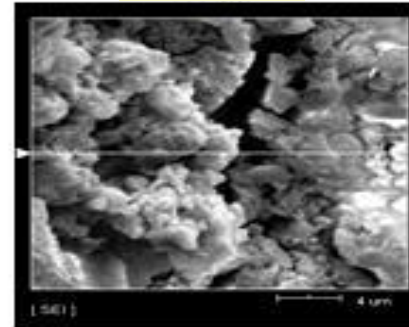
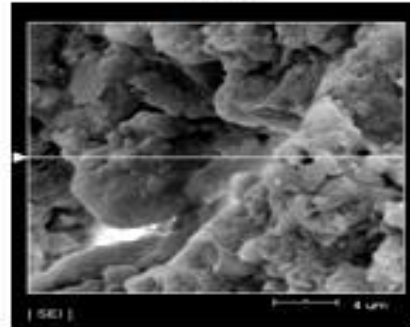
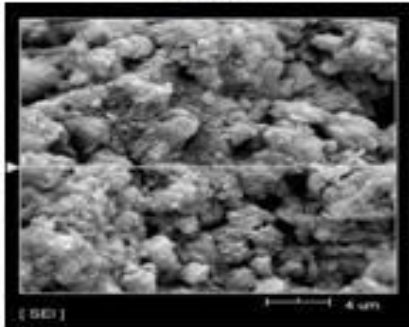
Calcário aplicado na superfície do solo ($t\ ha^{-1}$) em 1993 e 2000

(0 + 0)

(0 + 3)

(6 + 0)

(6 + 3)



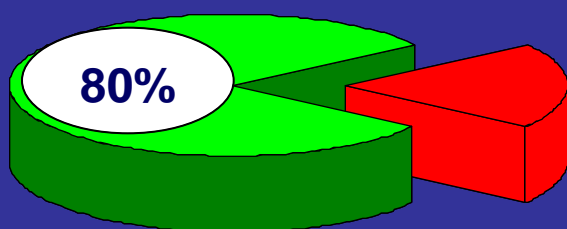
Caracterização de carbono (C) e cálcio (Ca) por meio de espectrômetro de dispersão de raios X na região central de agregados de tamanho 8-19 mm, considerando a calagem na superfície em um experimento de longa duração (15 anos) em plantio direto. Os agregados foram coletados em 2008.

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

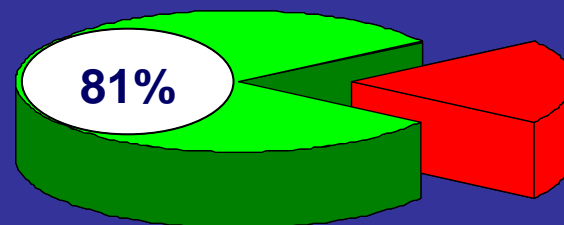
Distribuição relativa do Al complexado com ânions orgânicos de alta e baixa massa molecular na solução de solos sob plantio direto

MATO GROSSO
Rondonópolis



 Alta Massa Molecular

PARANÁ
Ponta Grossa

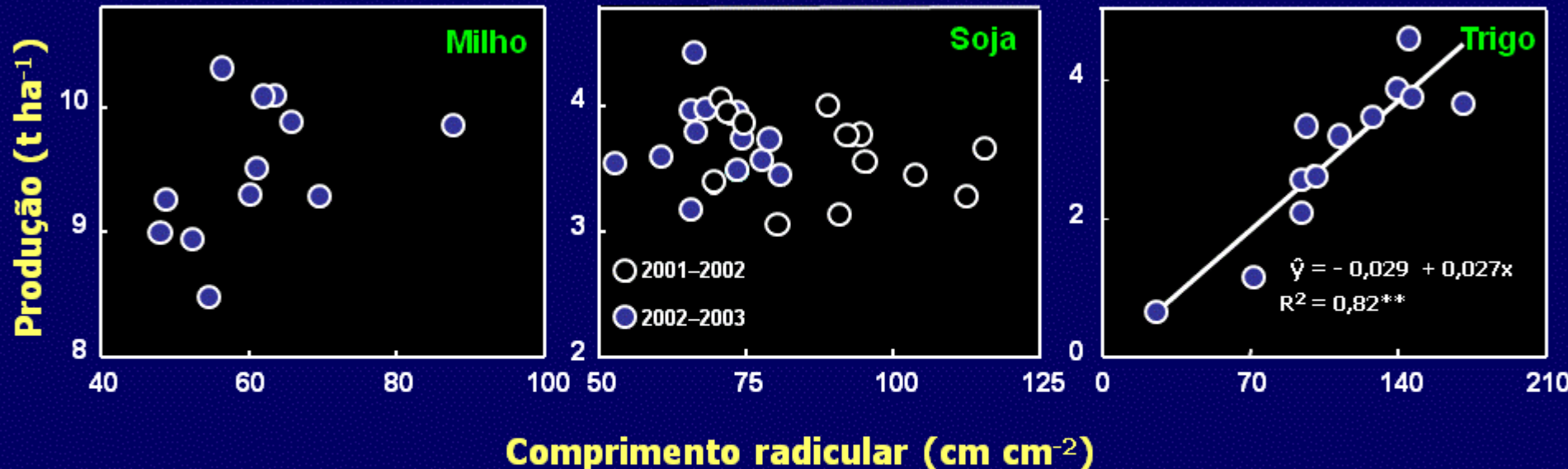


 Baixa Massa Molecular

Sem limitação hídrica

Sem limitação hídrica

Com limitação hídrica



Produção 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

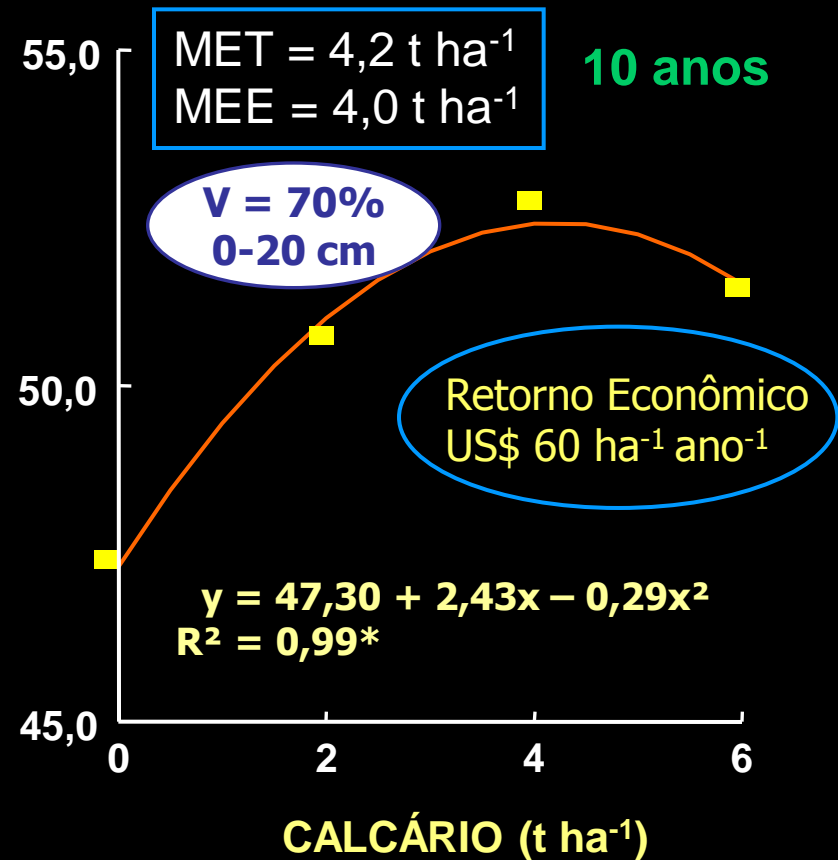
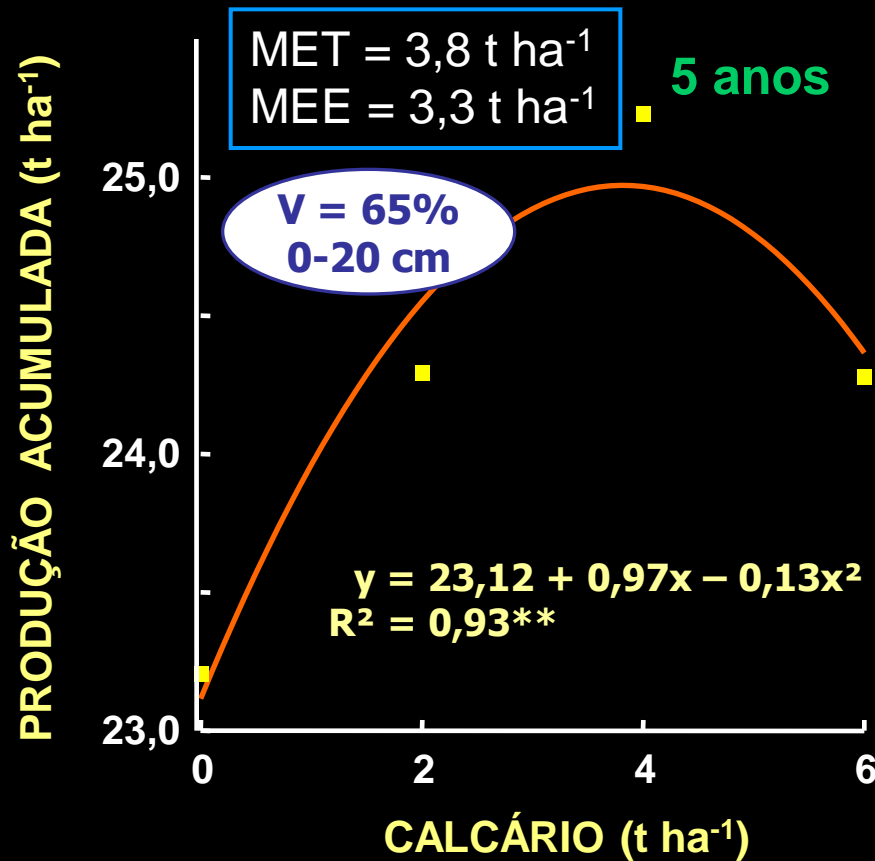
COM DEFICIÊNCIA HÍDRICA



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 *: $P < 0,05$

Produção acumulada de grãos durante a transição de pastagem para o sistema plantio direto influenciada pela calagem na superfície e incorporada

Tratamento	Soja	Cevada	Soja	Trigo	Soja	Milho	Soja	Produção Acumulada
	(1998-99)	(1999)	(1999-00)	(2000)	(2000-01)	(2001-02)	(2002-03)	
	t ha ⁻¹							
Sem calcário	1,907	1,667	3,317	3,281	3,802	8,531	3,265	25,770
Calcário na superfície ¹	1,934	1,706	3,461	3,430	3,896	9,938	3,549	27,914
Calcário na superfície ²	2,123	1,671	3,781	3,443	3,971	9,370	3,338	27,697
Calcário incorporado	2,008	1,726	3,354	3,516	4,009	9,431	3,518	27,562
DMS _{0,05} ³	655	476	234	610	354	1,536	763	1,450

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 Diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a $P = 0,05$.

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

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

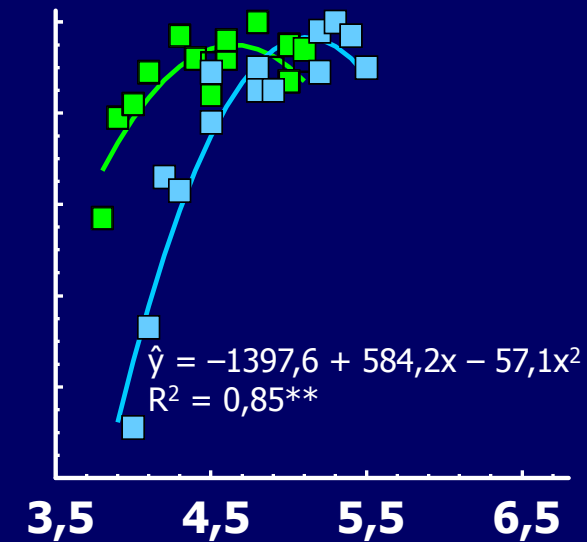
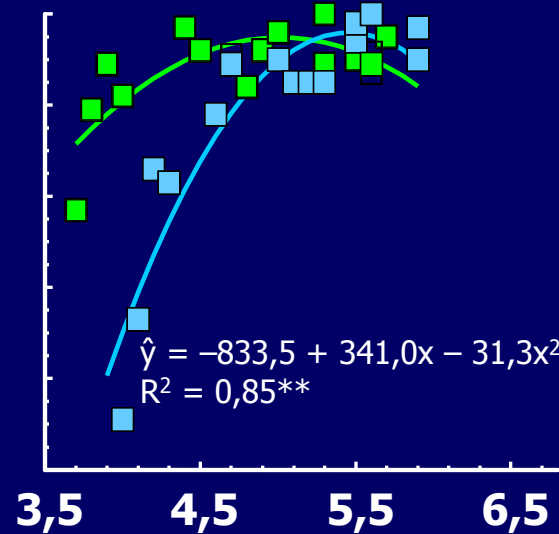
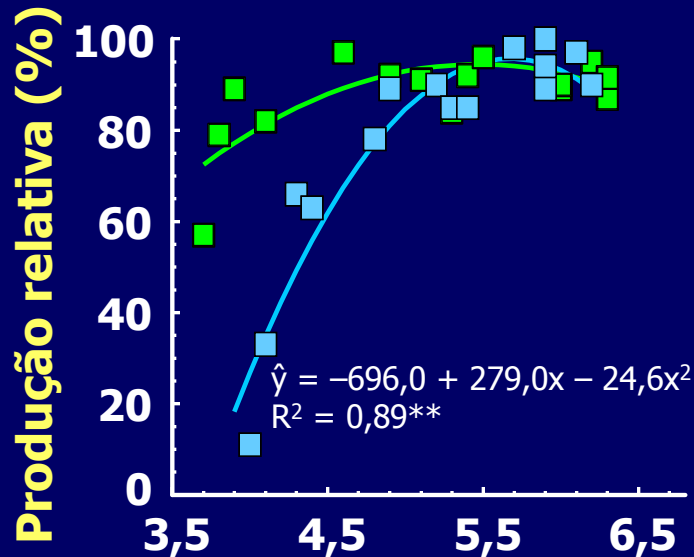
0-20 cm

■ 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 CaCl_2 do solo

Relações entre a produção relativa de grãos de soja e milho e o pH (CaCl_2 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

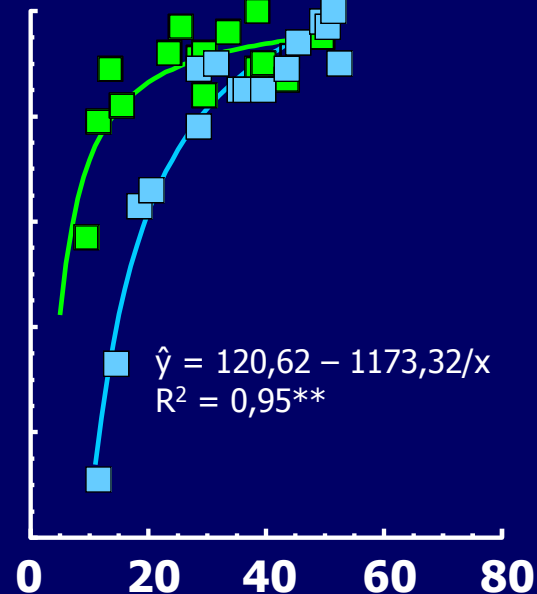
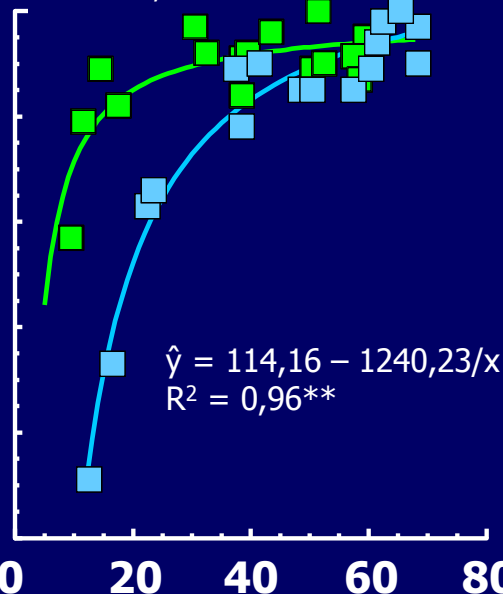
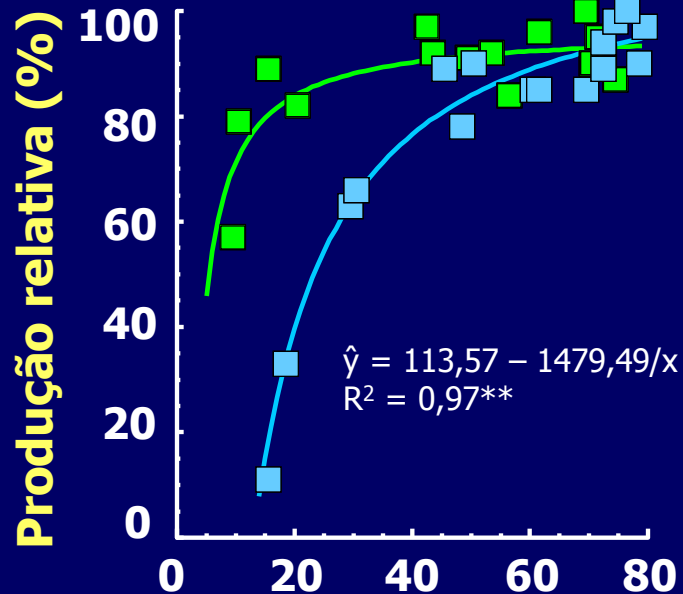
0-20 cm

■ Soja
■ Milho

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

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

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

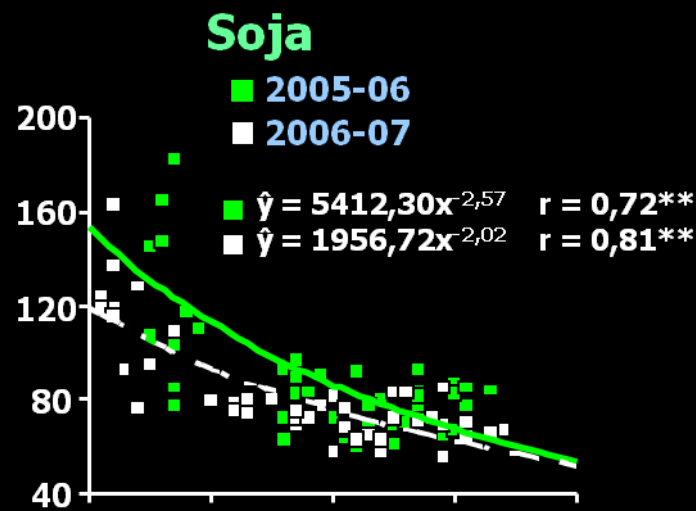
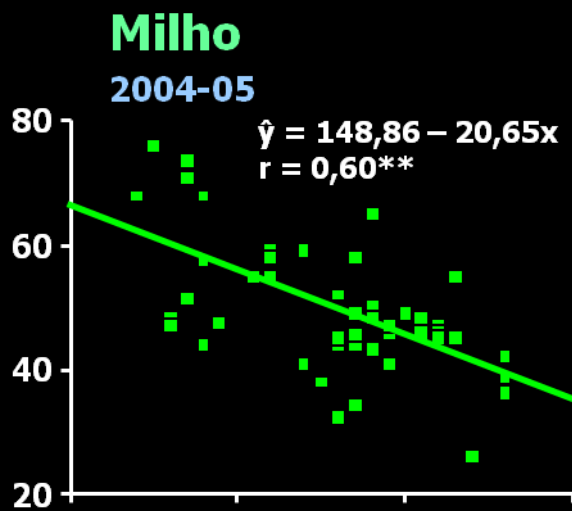


Saturação por bases (%)

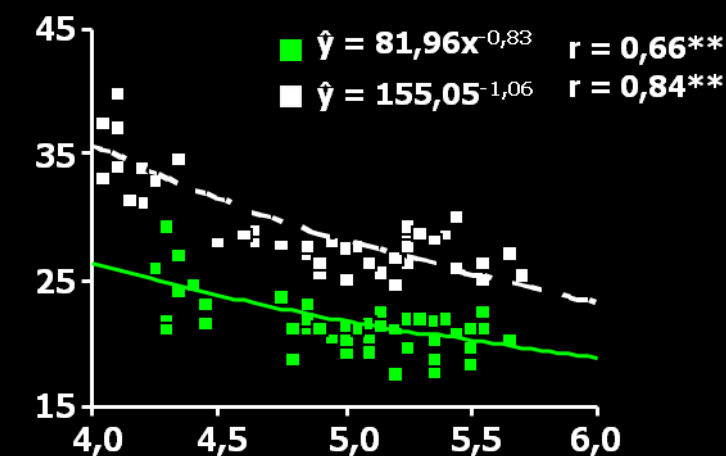
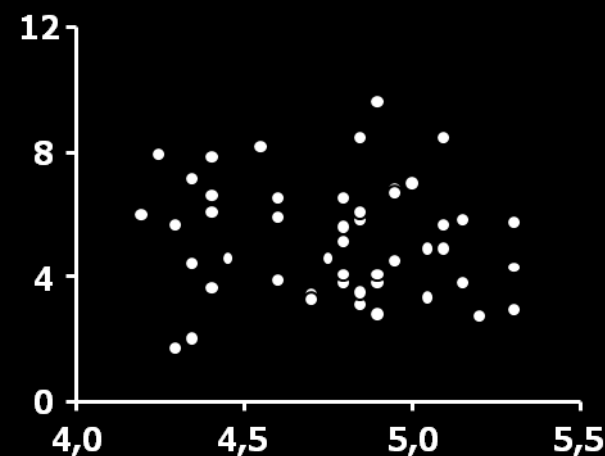
Relações entre a produção relativa de grãos de soja e milho e a saturação por bases do solo, nas profundidades de 0-5 cm, 0-10 cm e 0-20 m. $^{**}P < 0,01$.

Mn

Mn nas folhas (mg kg⁻¹)



Mn nos grãos (mg kg⁻¹)



pH_{CaCl₂} do solo

Influência do pH do solo (0–10 cm) nos teores de Mn nas folhas e nos grãos das culturas de milho e soja, em sistema plantio direto. **: $P < 0,01$.

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

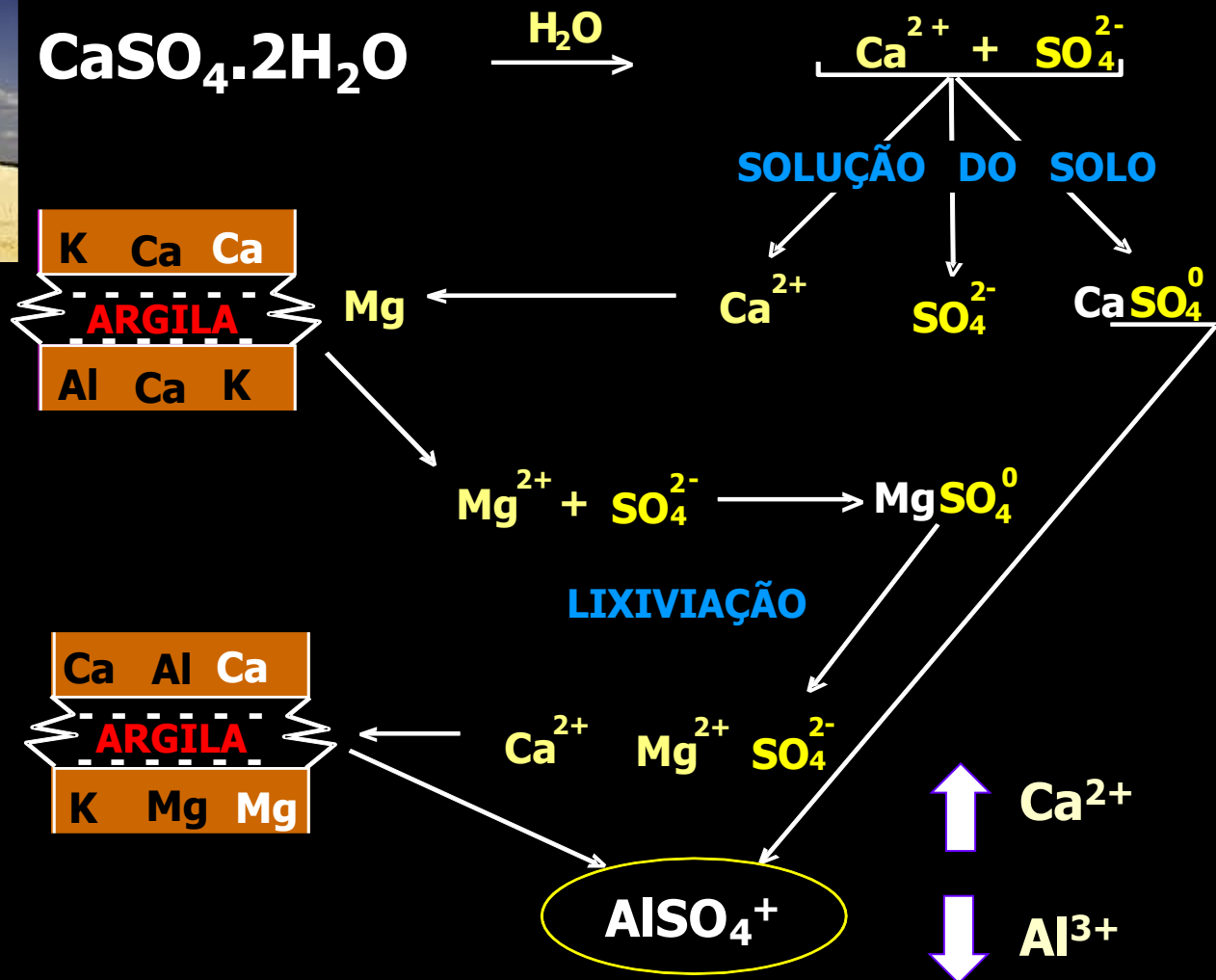
A calagem na superfície somente deve ser recomendada para solo com $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} < 5,6$ ou saturação por bases $< 65\%$ na profundidade de 0–5 cm

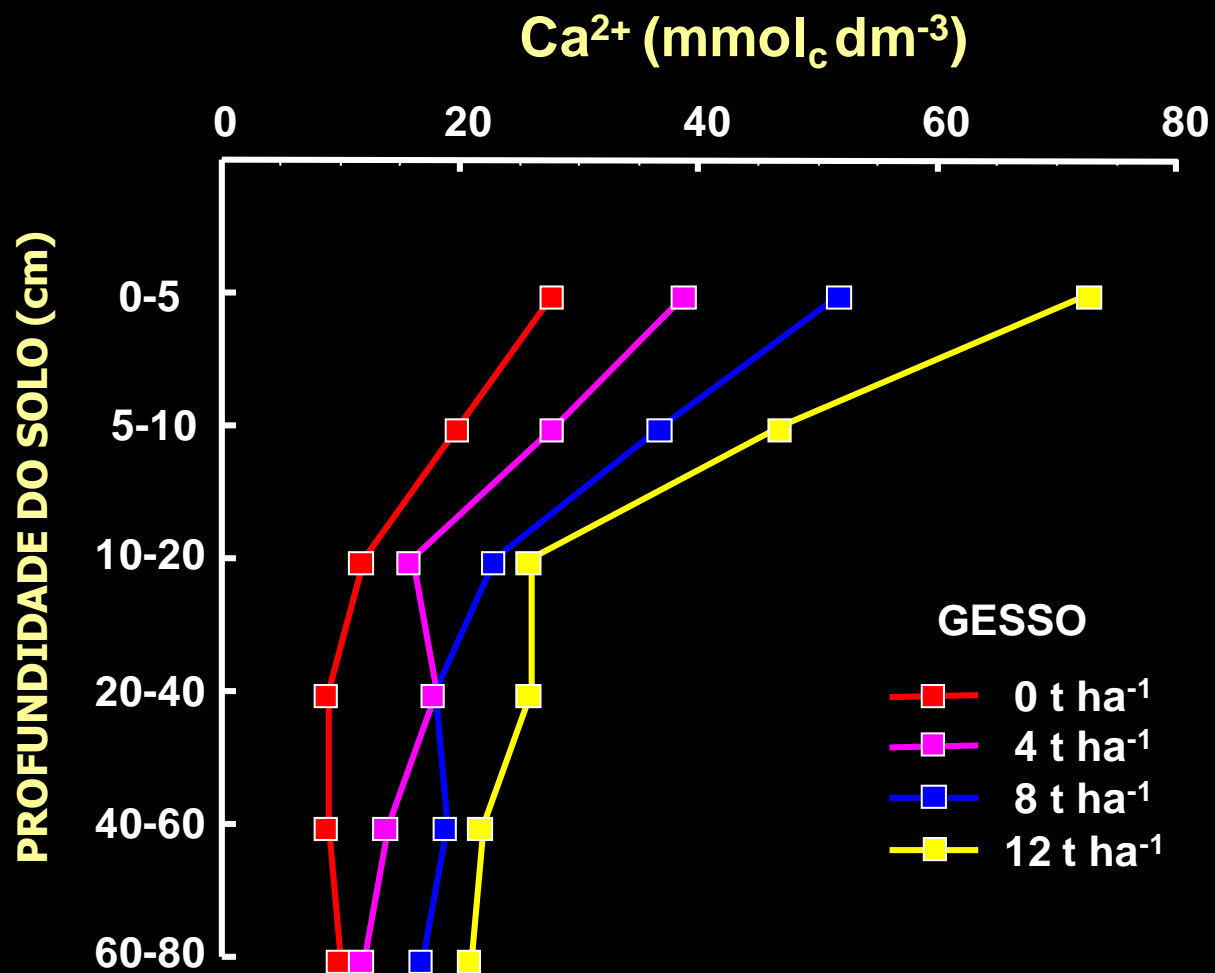
O monitoramento da acidez na camada superficial do solo (0–5 cm) serve para auxiliar a avaliação da frequência da aplicação de calcário na superfície

Mecanismo de Ação do Gesso Agrícola

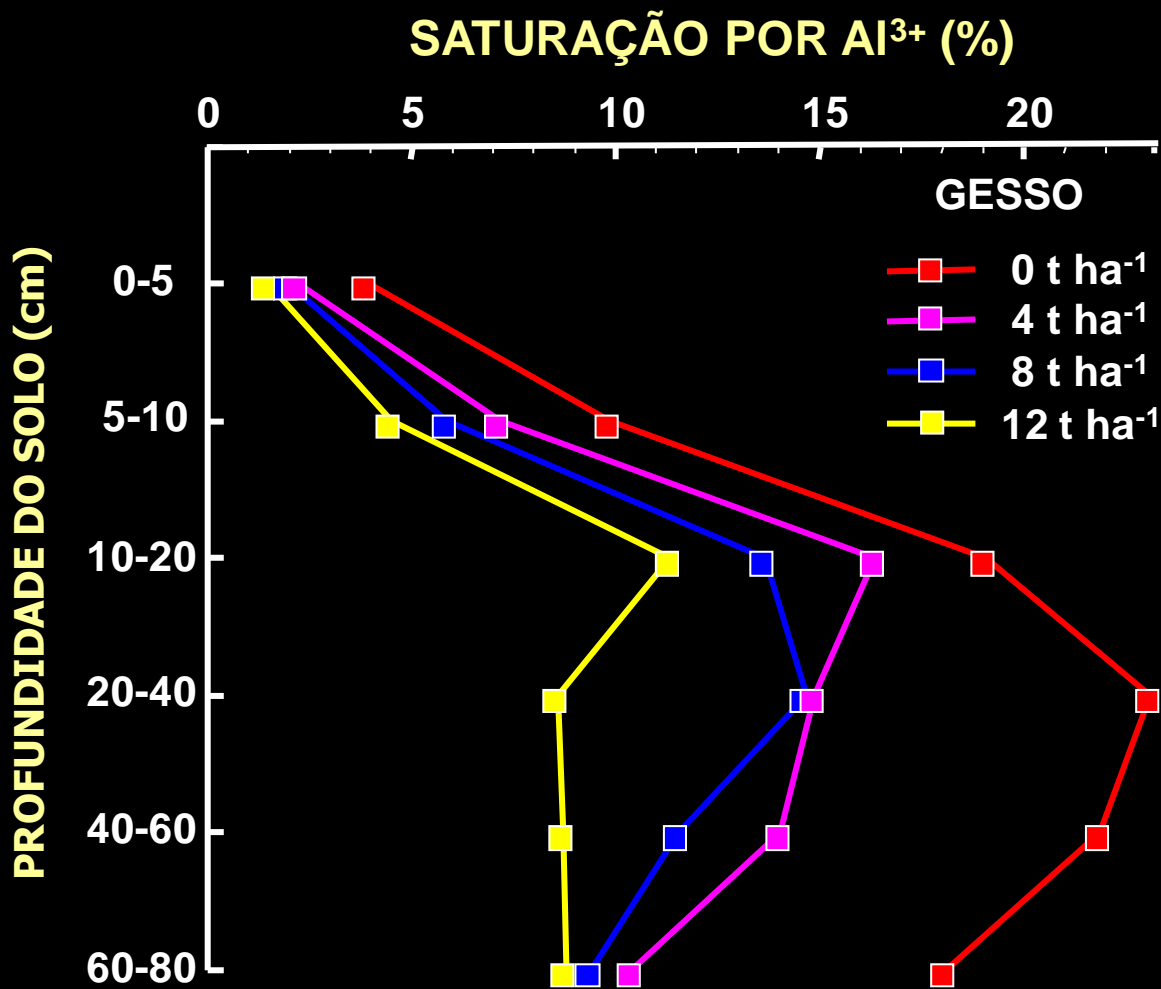


Gesso Agrícola

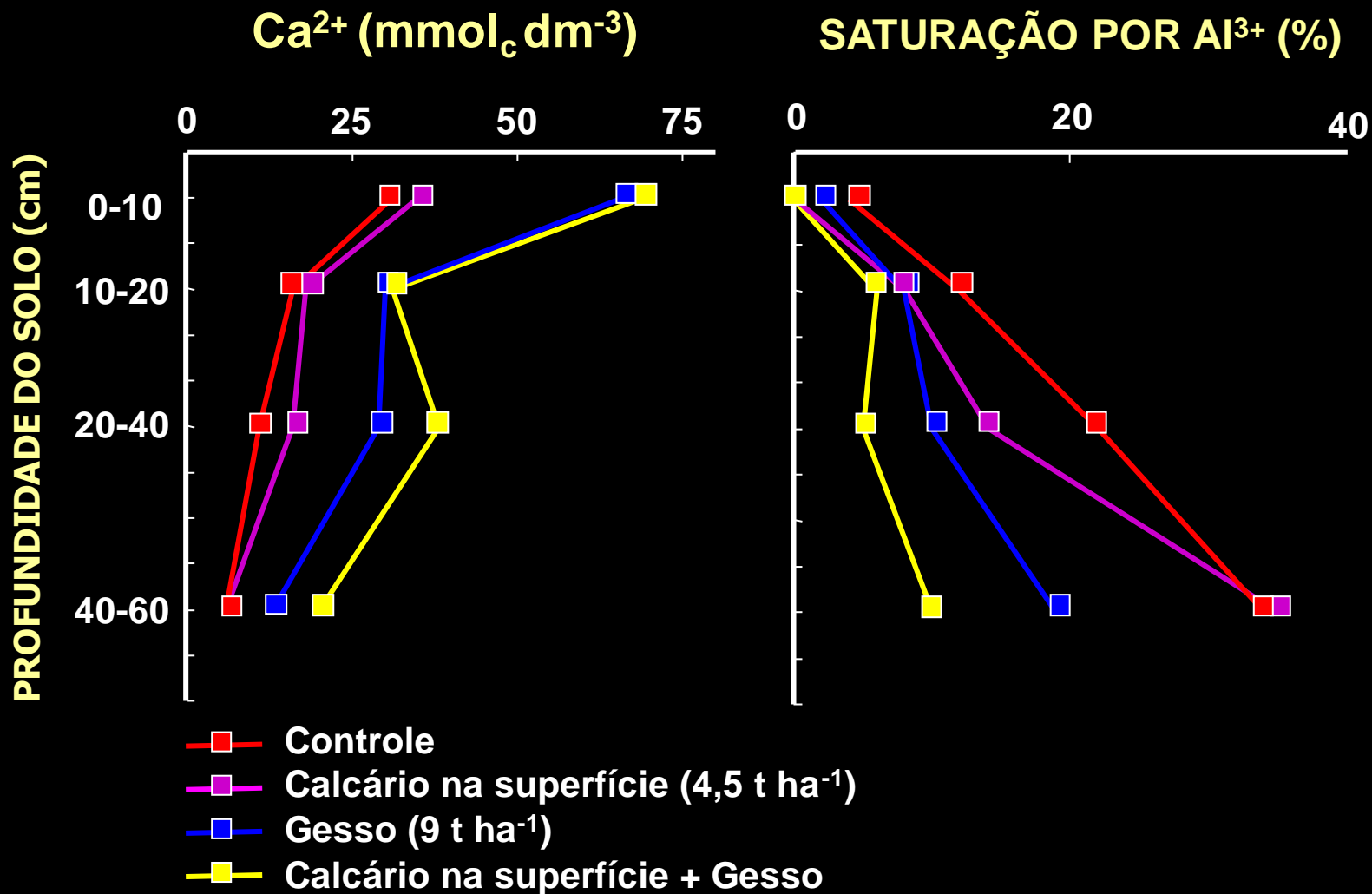




Efeito de doses de gesso na superfície, após 14 meses, sobre o teor de Ca²⁺ trocável de um LV textura média manejado no sistema plantio direto.



Efeito de doses de gesso na superfície, após 14 meses, sobre a saturação por Al^{3+} de um LV textura média manejado no sistema plantio direto.

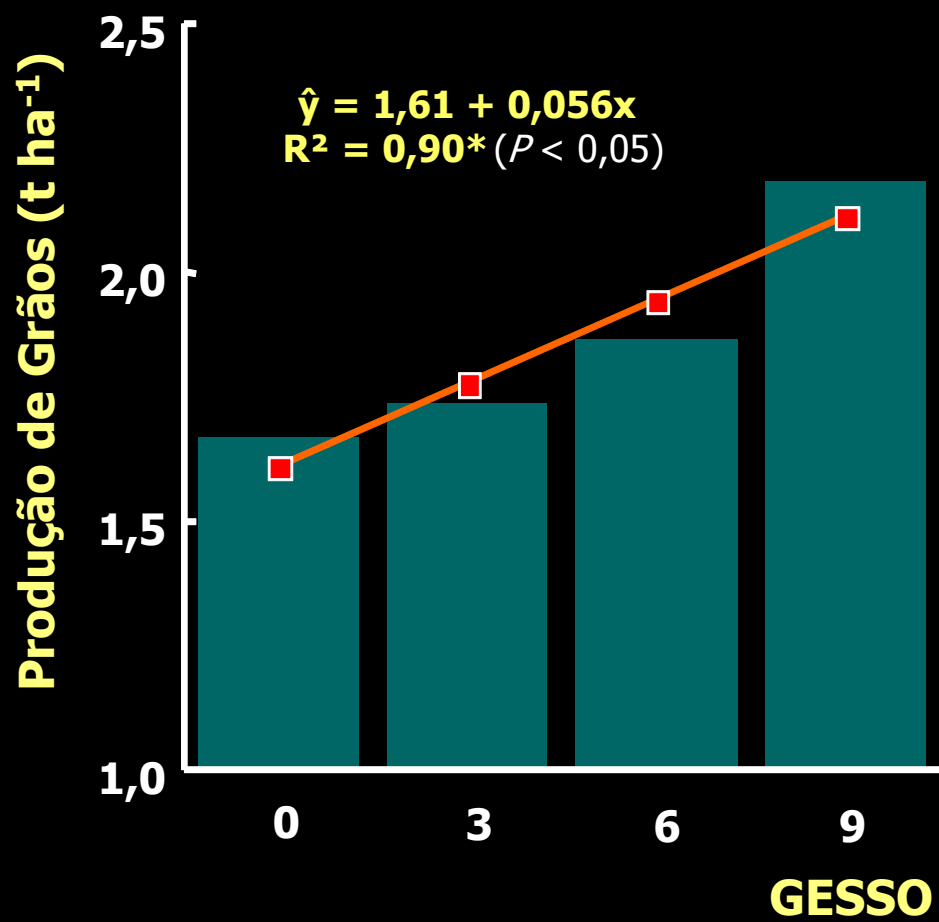


Efeito da calagem superficial, após 11 meses, e da aplicação de gesso, após 8 meses, sobre o Ca²⁺ trocável e a saturação por Al³⁺ de um LV textura argilosa manejado no sistema plantio direto.

PRODUÇÃO DE GRÃOS DE CEVADA E TRIGO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO NA SUPERFÍCIE EM PLANTIO DIRETO

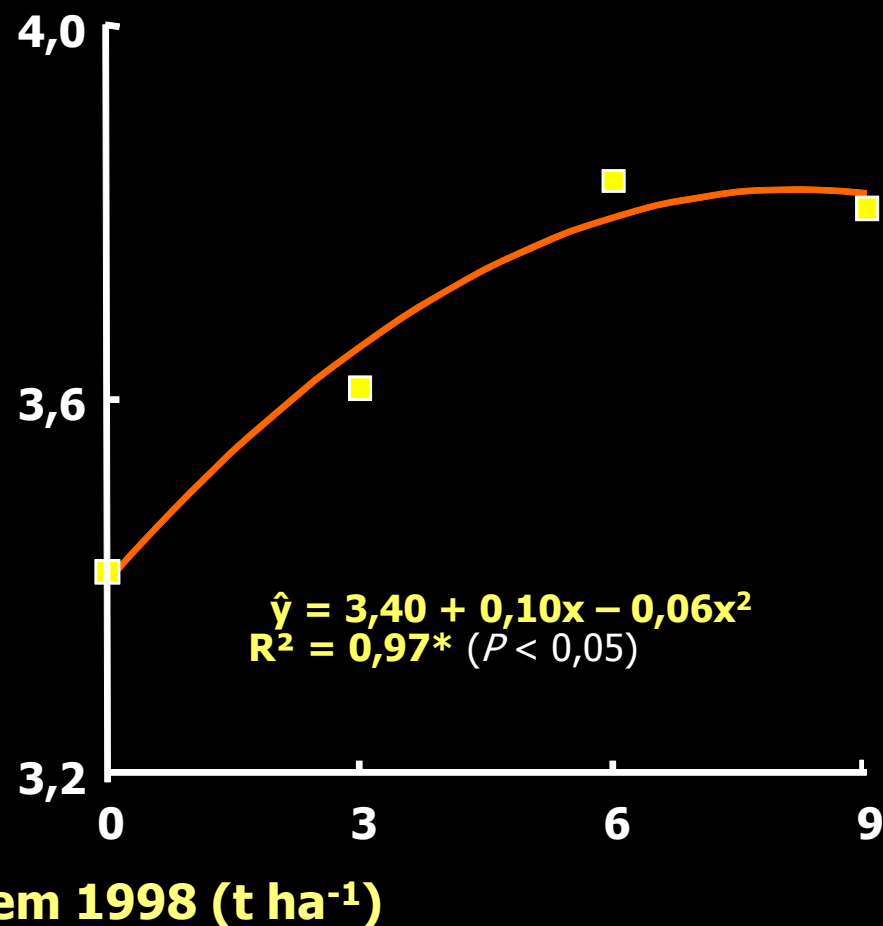
Cevada: 1999

Com limitação hídrica

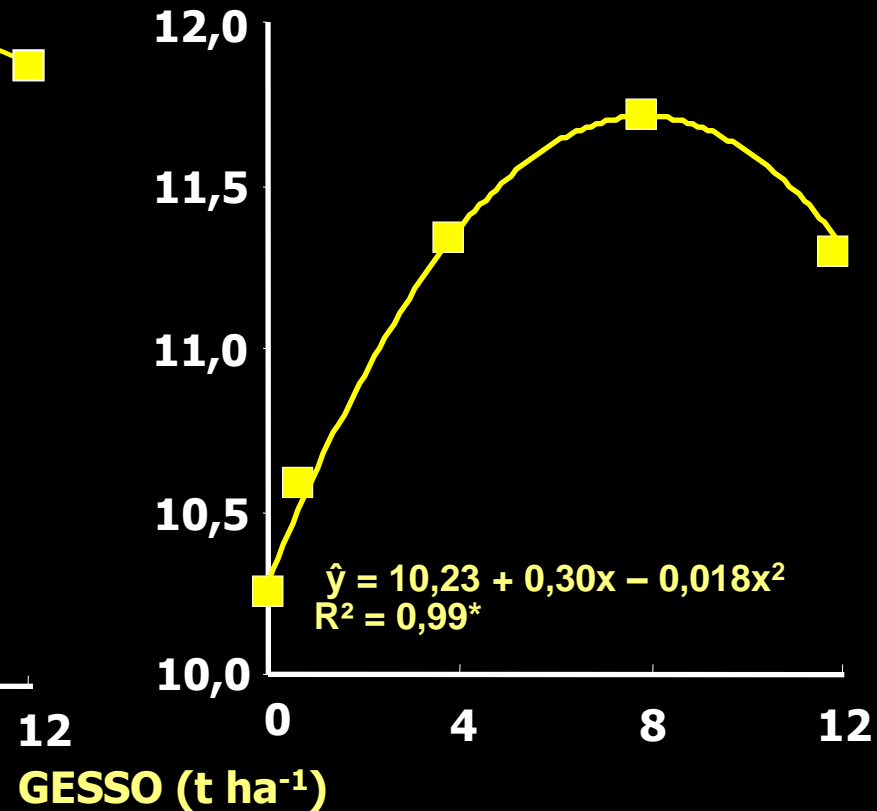
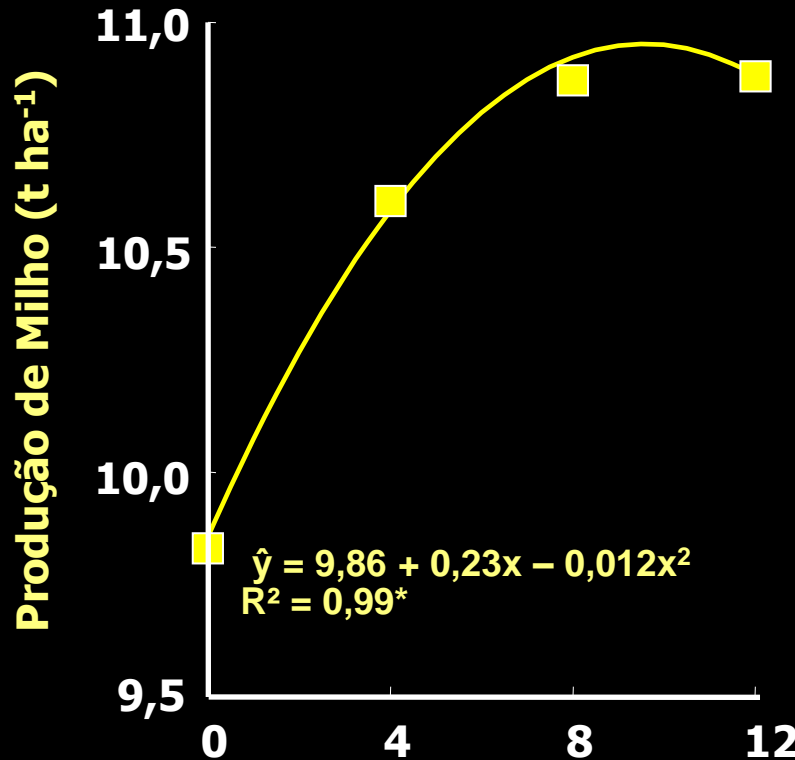


Trigo 2000

Sem limitação hídrica



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
*: $P < 0,05$

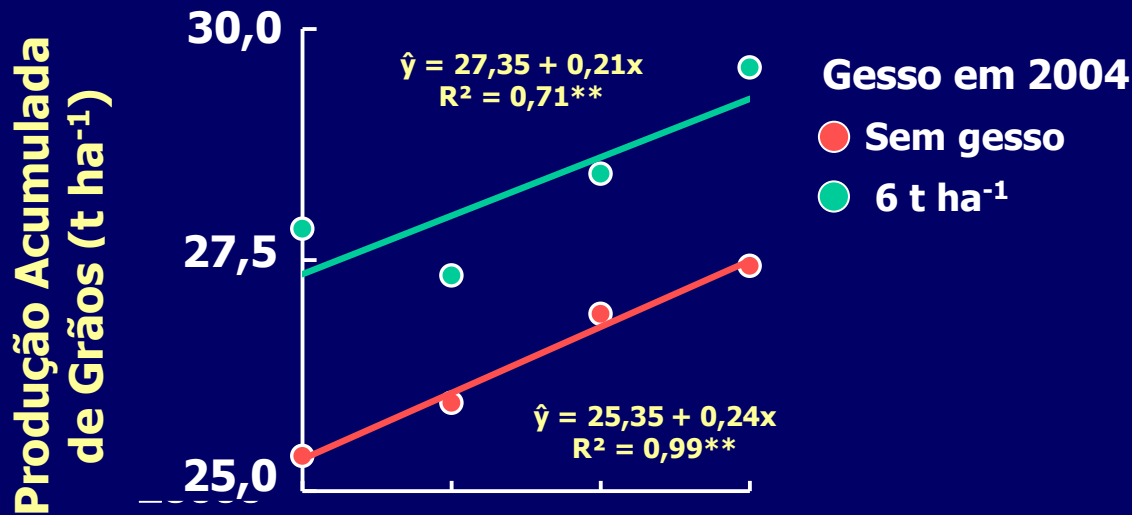
**Subsolo
sem Al³⁺**

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

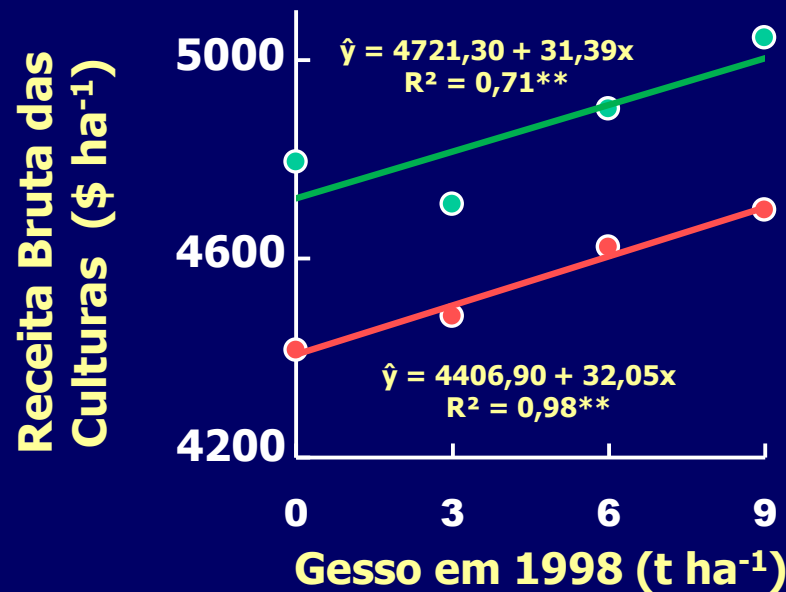
Tratamento	Milho (2004–2005)	Trigo (2005)	Soja (2005–2006)	Soja (2006–2007)	Milho (2007–2008)
Gesso - 1998 (t ha ⁻¹)	kg ha ⁻¹				
0	9719	1864	3479	2725	8945
3	9819	1942	3234	2723	8923
6	9934	2039	3282	2781	9634
9	10453	2089	3160	2666	10040
Efeito	L*	ns	ns	ns	L**
Reaplicação de gesso - 2004	kg ha ⁻¹				
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*

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



LV (20–60 cm)

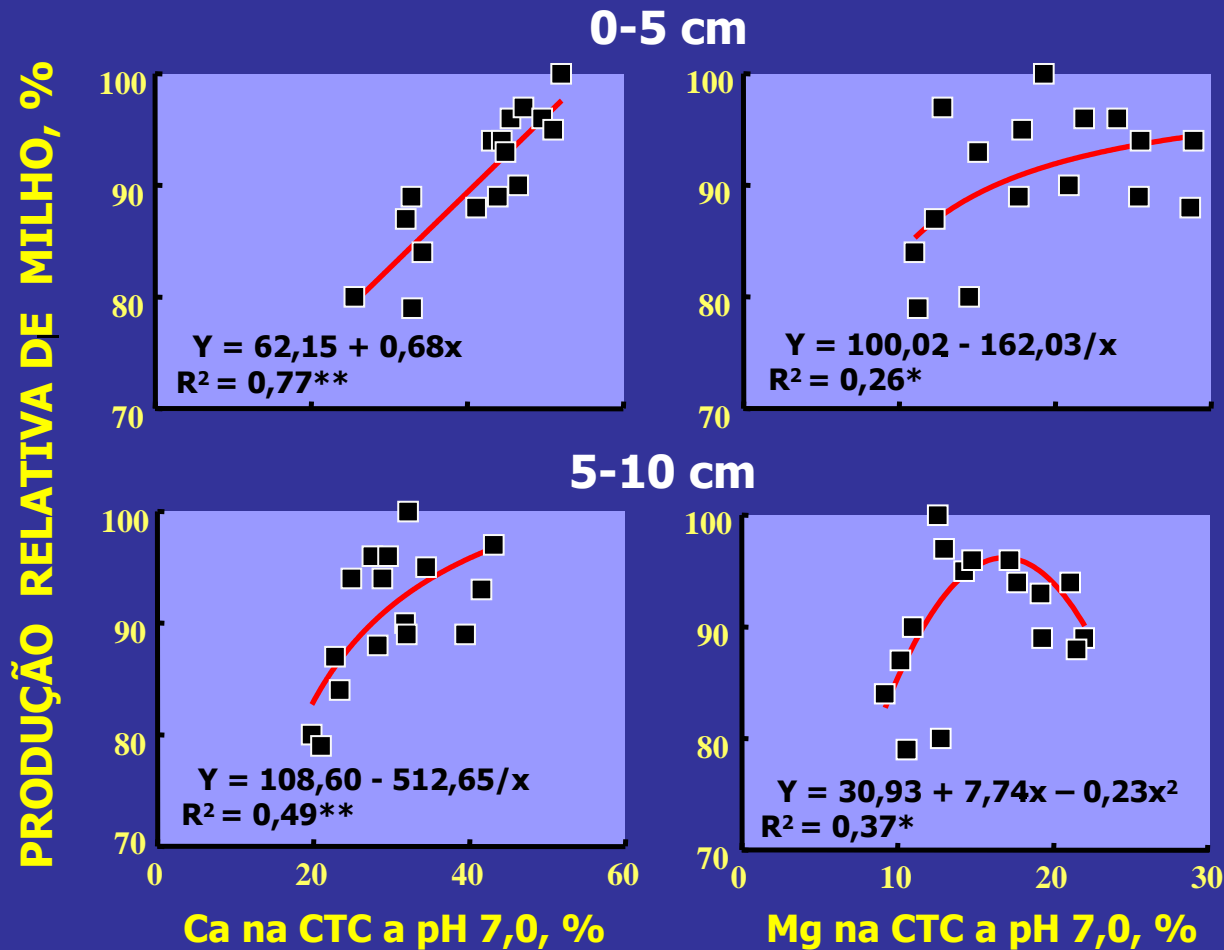
Argila = 610 g kg⁻¹
 Ca ≥ 8 mmol_c dm⁻³
 Al ≤ 4 mmol_c dm⁻³
 m ≤ 15%



Retorno Econômico
 US\$ 97,5 ha⁻¹

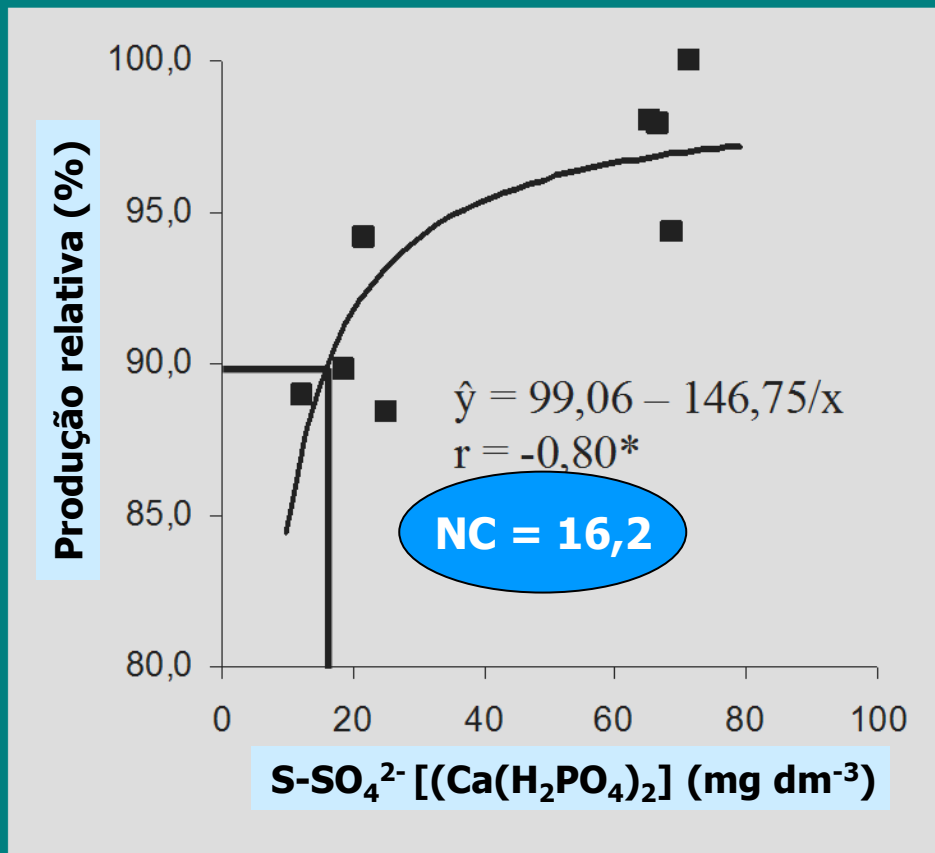
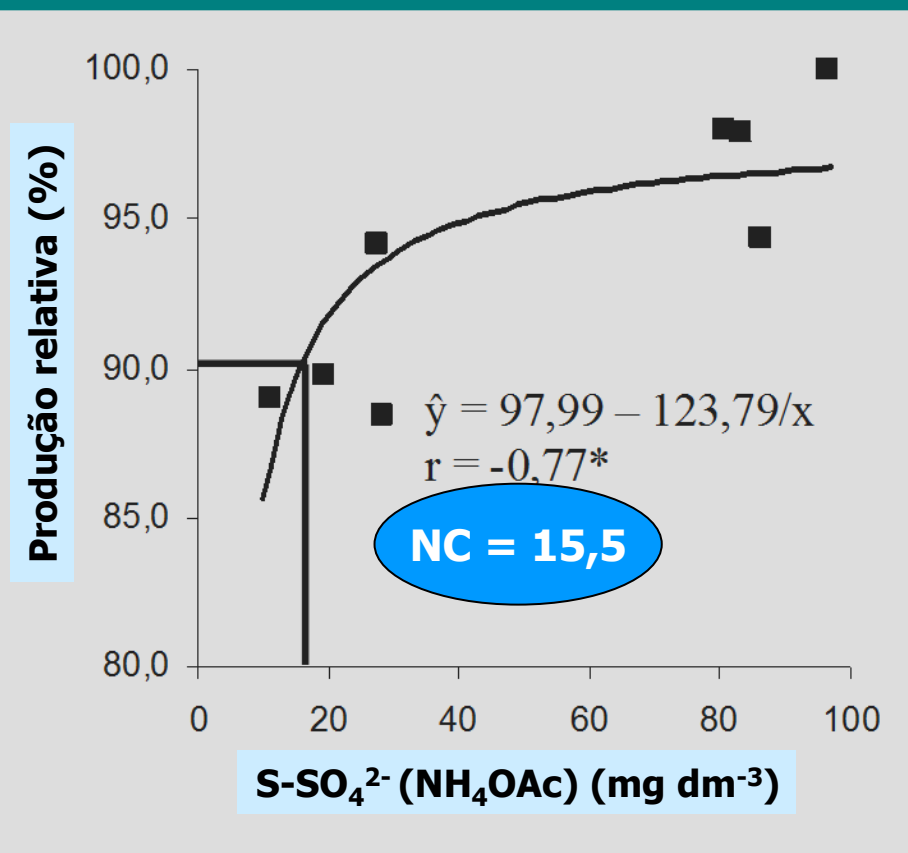
Produção acumulada de grãos e receita bruta das culturas no período de 2004 a 2008. Rotação: milho, trigo, soja, soja e milho. **: $P < 0,01$

Relações entre a produção relativa de milho e a saturação por Ca e por Mg na CTC a pH 7,0



** Significativo $P < 0,01$ * Significativo $P < 0,05$

Relação entre a produção relativa de grãos de milho e os teores de sulfato no solo (0-20 cm), extraídos com as soluções de acetato de amônio em ácido acético (NH_4OAc) e de fosfato de cálcio [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$]

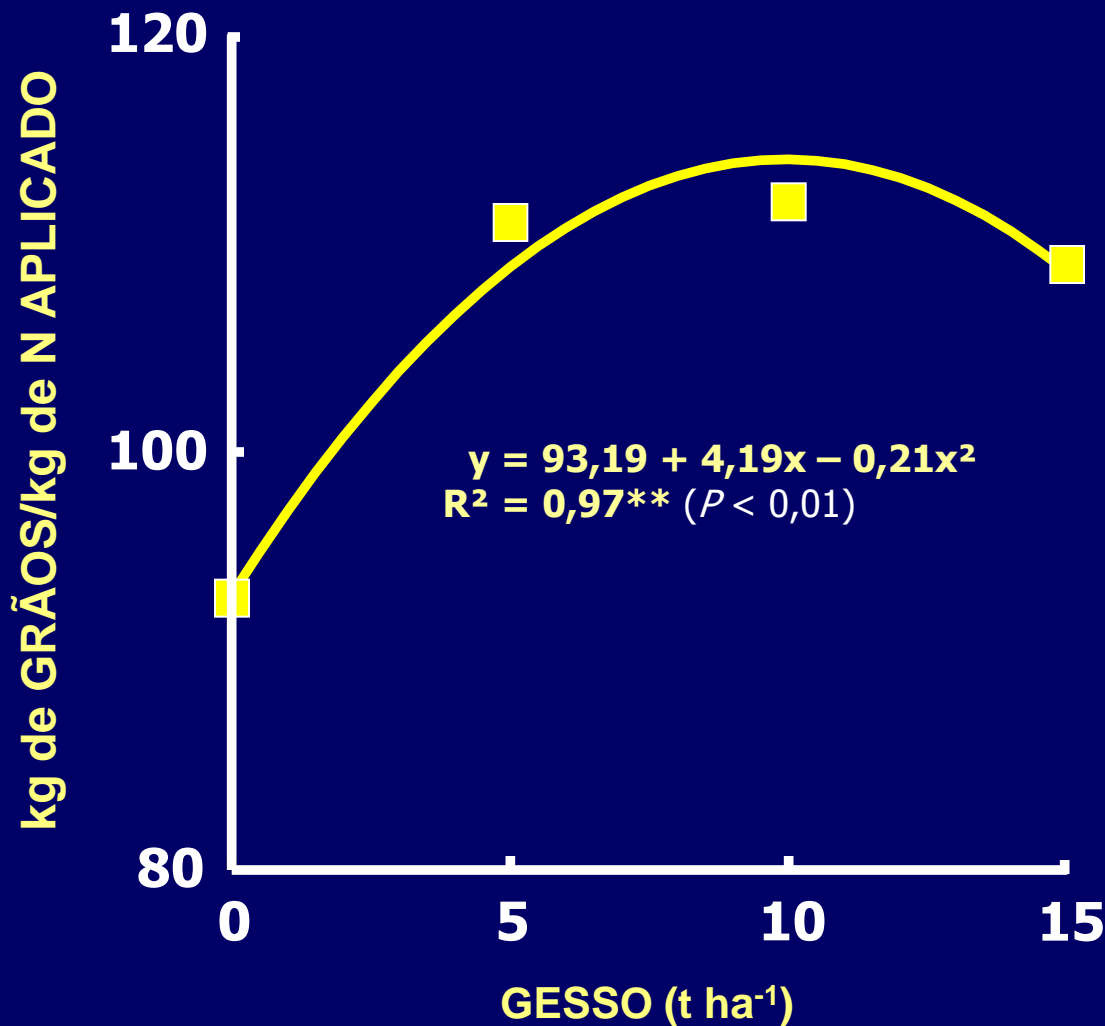


EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO N PELA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Gesso: 2009



2009/10



LV (40–60 cm)

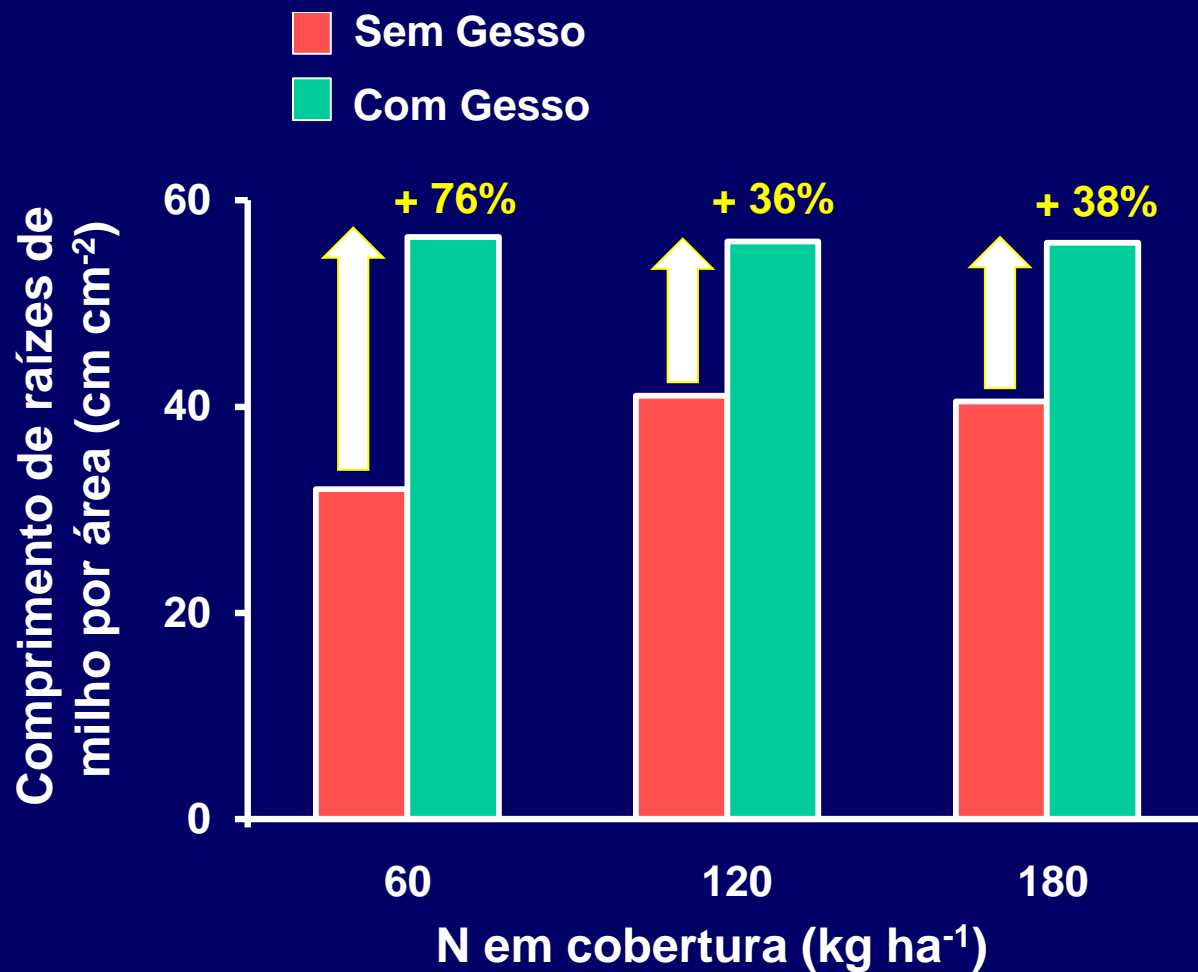
Argila = 760 g kg⁻¹

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.

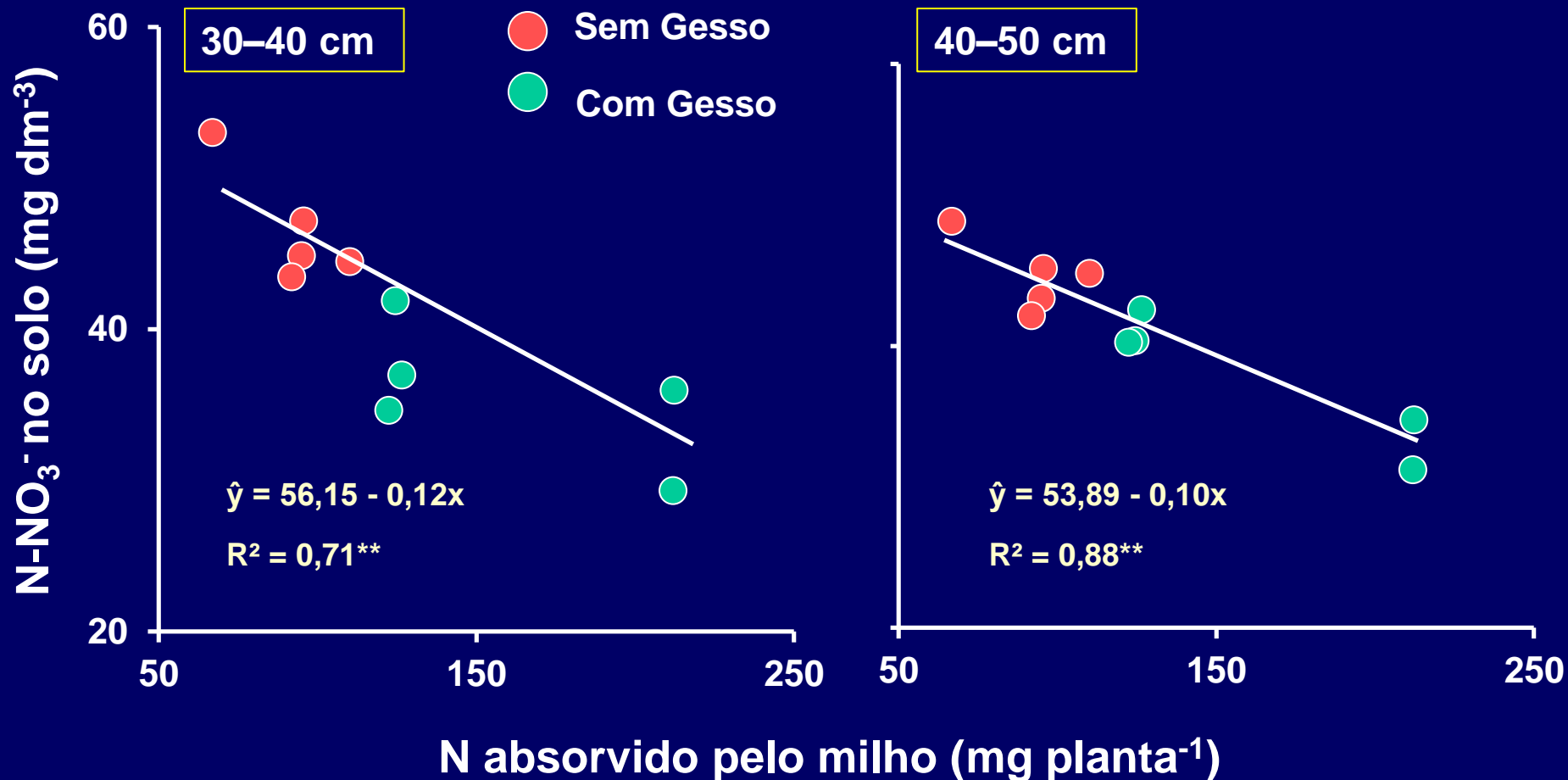
SEM GESSO

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-NO_3^- no solo, nas profundidades de 30–40 cm e 40–50 cm, e a quantidade de N absorvida pela parte aérea do milho. $** P < 0,01$.

Uso de Gesso em Sistema Plantio Direto

O gesso agrícola ocasiona melhoria nas condições químicas do perfil do solo e aumenta a eficiência do uso de nitrogênio em plantio direto.

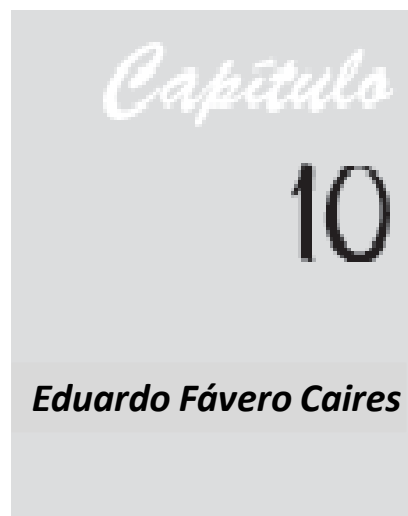
O gesso pode ser empregado em solos com deficiência de Ca e/ou com teores tóxicos de Al em camadas do subsolo, e também em solos com deficiência de S-SO₄ e/ou com estreita relação Ca/Mg nas camadas superficiais.

A aplicação de gesso deve ser realizada, preferencialmente, após a correção da acidez do solo com calcário contendo alto teor de MgO. Maiores benefícios com a utilização de gesso são esperados para as culturas gramíneas.



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.

O manejo adequado da acidez e a melhoria do ambiente radicular por meio do uso de calcário e gesso são de primordial importância para otimizar a produção de grãos no sistema plantio direto.

MUITO OBRIGADO



Laboratório de Fertilidade do Solo

Eduardo Fávero Caires

Tel. (42) 3220-3091

E-mail: efcaires@uepg.br