

V Simpósio Regional • IPNI Brasil

## BOAS PRÁTICAS PARA USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES

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

# Conceitos e Dinâmica de Nutrientes no Sistema Solo-Planta Visando as BPUFs

*Dr. Eros Francisco, Diretor Adjunto IPNI Brasil*

*Dr. Luís Prochnow, Diretor IPNI Brasil*

*Dr. Valter Casarin, Diretor Adjunto IPNI Brasil*



## OBJETIVOS PRINCIPAIS DA PALESTRA

- ✓ Estabelecer conexão clara entre a dinâmica da fertilidade do solo com a resposta das culturas.
- ✓ Evidenciar que sem conhecimento básico de fertilidade do solo e nutrição de plantas não é possível se manejar os nutrientes visando a utilização eficiente dos mesmos.
- ✓ Fornecer alguns exemplos gerais. Não há condições de abordar o tema com detalhes.
- ✓ Para detalhes e aprofundamento recomendo os livros do IPNI Brasil.



# INTRODUÇÃO



Fonte: Murrell, 2009



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

## COMO NUNCA ANTES ESTAMOS SOB A MIRA/LUPA DA SOCIEDADE EM GERAL

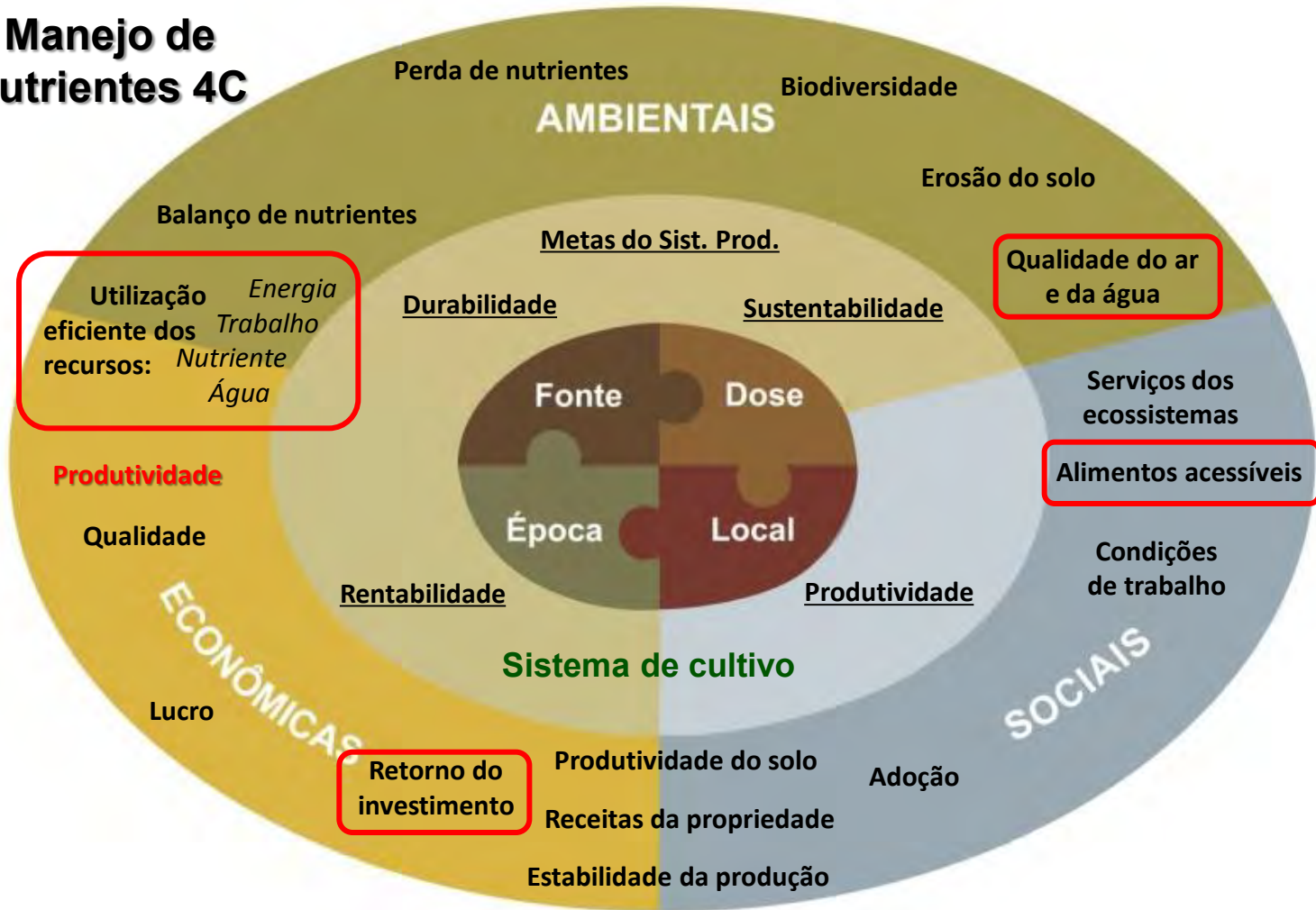
- **PREÇOS E FORNECIMENTO**
- **UTILIZAÇÃO DE ÁREAS NATURAIS**
- **NITRATOS NA ÁGUA**
- **ZONAS DE HIPOXIA**
- **EMIÇÃO GEE**
- **QUALIDADE DO AR**

**“TREMENDO INCENTIVO/PRESSÃO PARA SE UTILIZAR INSUMOS DE FORMA ADEQUADA”**



# Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes

## Manejo de nutrientes 4C

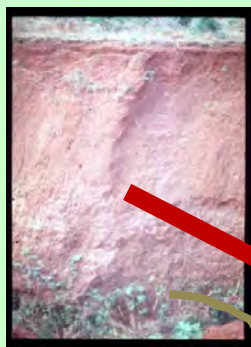


Aplicação das **fontes** corretas de nutrientes nas doses, hora e local corretos

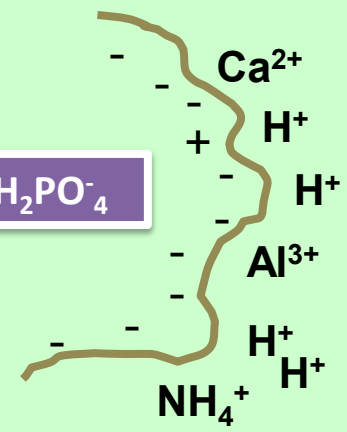
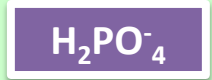
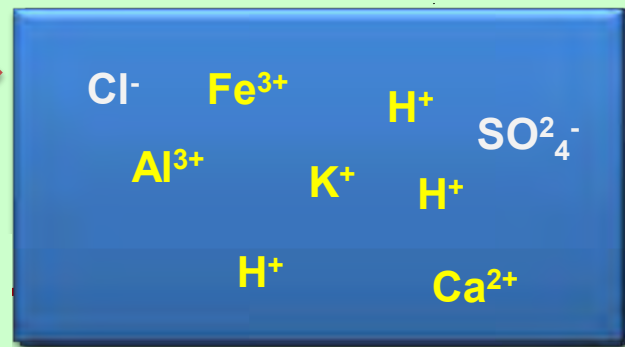
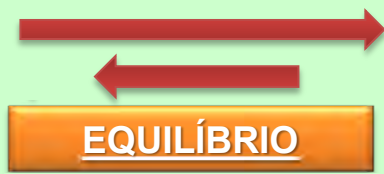
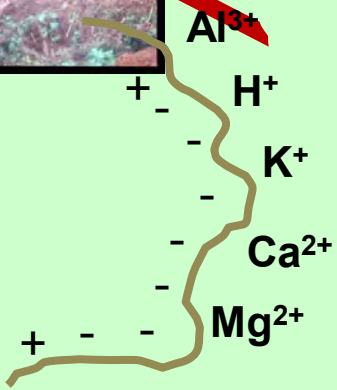
# ASPECTOS BÁSICOS DE QUÍMICA DO SOLO:

Fase Sólida

Fase Solução



Formação de P – Ca, Fe e/ou Al



**CONSEQÜÊNCIAS:**

⇓⇓ [ P ] na solução

Transporte até superfície da raiz por difusão

⇓⇓ Disponibilidade de P às plantas

SOLO	FASE SÓLIDA
De forma simples	ORGÂNICA
	INORGÂNICA
	POROS
	AR
	ÁGUA
	ORGANISMOS
	MACRO
	MICRO

**CARGAS:**  
Constantes  
Variáveis (principalmente pH)

**PCZ ou PESN:**  
pH onde  $-S = +S$   
Efeito de profundidade

**ADSORÇÃO:**  
Ligação iônica = Pratic/te todos os cátions  
Ligação covalente =  $H^+$

**Equação de Kerr**

$$\left( \begin{matrix} K^+ \\ Na^+ \end{matrix} \right) = K_{ex} \left[ \begin{matrix} K^+ \\ Na^+ \end{matrix} \right]$$

$$SB = K + Ca + Mg (+Na)$$

$$CTC \text{ pH } 7,0 = SB + (H+Al)$$

$$V\% = \frac{SB \times 100}{CTC \text{ pH } 7,0}$$



# AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO





# Cultivo de uma área agrícola implica uma dúvida:



## CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

pH, P, K, Ca, Mg, S, micro, CTC, V%

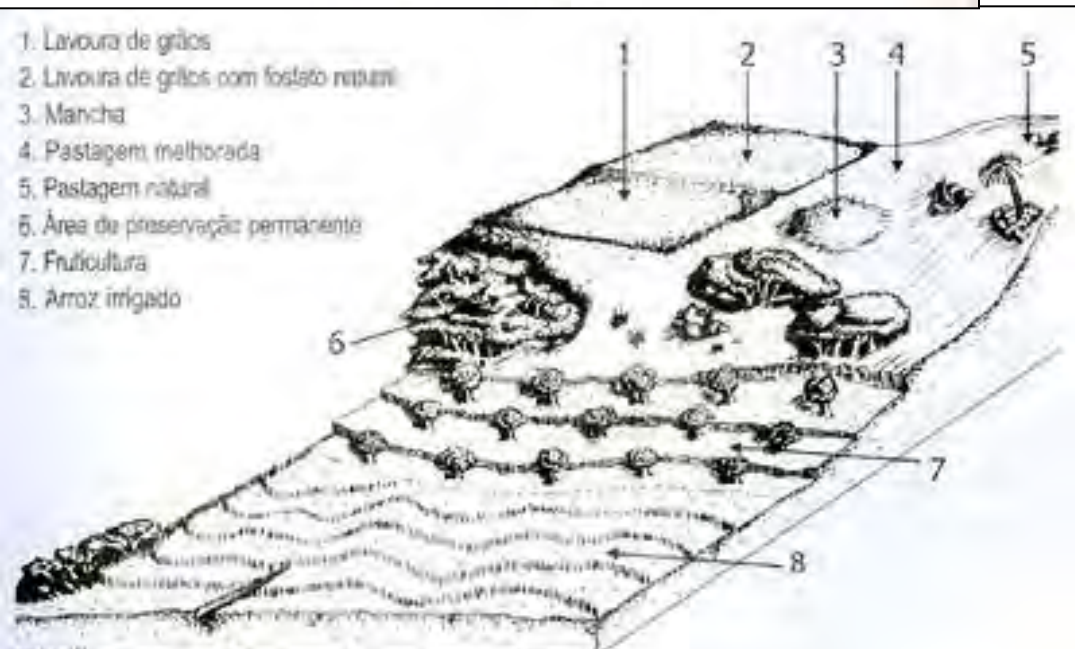
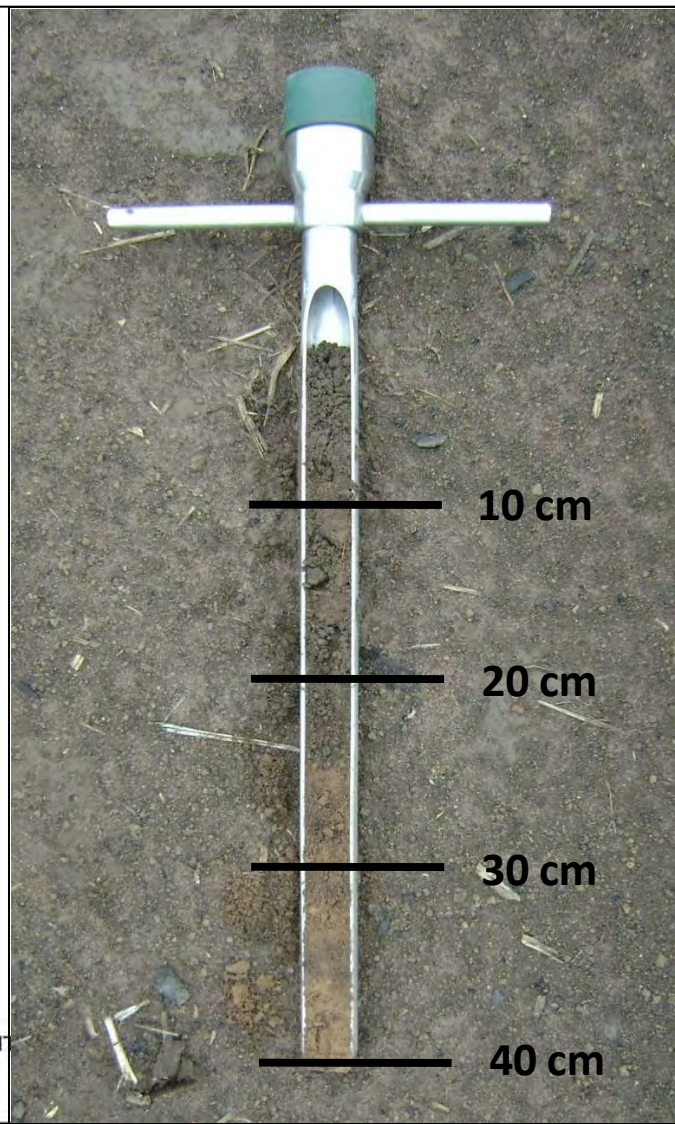
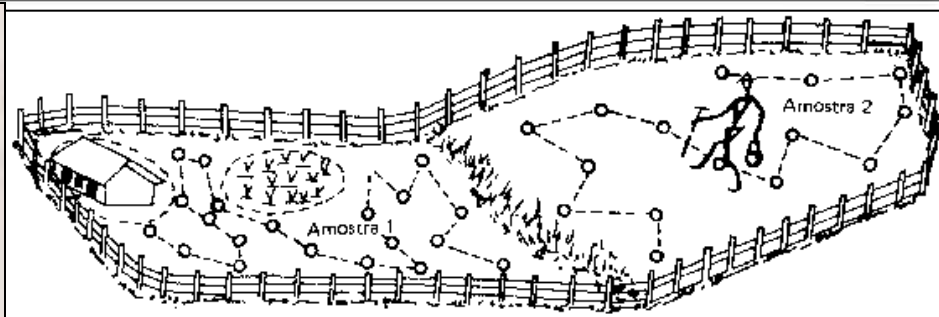
## EXIGÊNCIAS DA PLANTA

N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo, Cl, ..

**SÃO AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO ADEQUADAS PARA A MANUTENÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DA PLANTA DE FORMA A SE OBTEREM PRODUTIVIDADES ECONOMICAMENTE VIÁVEIS DIANTE DOS INVESTIMENTOS REALIZADOS ?**

# Amostragem de solo:

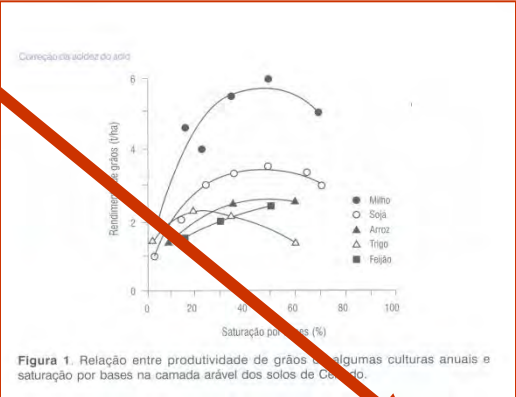
1. Levantamento do histórico de cada campo: produtividade, topografia, textura, vegetação anterior, coloração de solo, aplicações operacionais prévias, análise de solo e foliar anterior;
2. Planejamento da amostragem de solo: época do ano, número de amostras (20 sub/amostra), pessoal treinado, equipamento utilizado (pode variar c/ textura, compactação e umidade do solo), cuidado permanente com contaminação;
3. Definição da profundidade amostrada: tabelas de interpretação e recomendação ajustadas para 0-20 cm, contudo a amostragem pode variar em função do histórico de manejo. Há várias recomendações.
4. Manuseio da amostra: evitar reutilizar embalagens; não armazenar ao sol, secar ao ar antes de enviar ao laboratório, cuidado especial na identificação;
5. Escolha do laboratório: procurar os laboratórios com controle de qualidade, atenção a metodologia utilizada (P, acidez potencial)
6. Interpretação das análises: deve haver relação com o histórico do campo e tomar cuidado com interpretações matemáticas.





# DA ANÁLISE A RECOMENDAÇÕES

Soil Fertility Evaluation												
Sample	pH	O.M g dm <sup>-3</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S	BS	CEC	V%
				mmol, dm <sup>-3</sup>								
A (0-20)	5,4	20	7	1,0	36	14	0	25	2	51	76,0	67
A (20-40)	4,4	14	4	0,7	23	6	12	42	3	29,7	71,7	41
B (0-20)	5,3	28	42	4,4	48	16	0	35	12	68,4	103,4	66



**Adubação mineral de plantio:** Aplicar de acordo com a análise de solo e a produtividade esperada, conforme a seguinte tabela:

Produtividade esperada	Nitrogênio	P resina, mg/dm <sup>3</sup>				K <sup>+</sup> trocável, mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>			
		0-6	7-15	16-40	>40	0-0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	>3,0
t/ha	N, kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , kg/ha				K <sub>2</sub> O, kg/ha <sup>(2)</sup>			
2- 4	10	60	40	30	20	50	40	30	0
4- 6	20	80	60	40	30	50	50	40	20
6- 8	30	90	70	50	30	50	50	50	30
8-10	30	<sup>(1)</sup>	90	60	40	50	50	50	40
10-12	30	<sup>(1)</sup>	100	70	50	50	50	50	50

<sup>(1)</sup> É improvável a obtenção de alta produtividade de milho em solos com teores muito baixos de P, independentemente da dose de adubo empregada. <sup>(2)</sup> Para evitar excesso de sais, no sulco de plantio, a adubação potássica para doses maiores que 50 kg/ha de K<sub>2</sub>O está parcelada, prevendo-se a aplicação em cobertura.



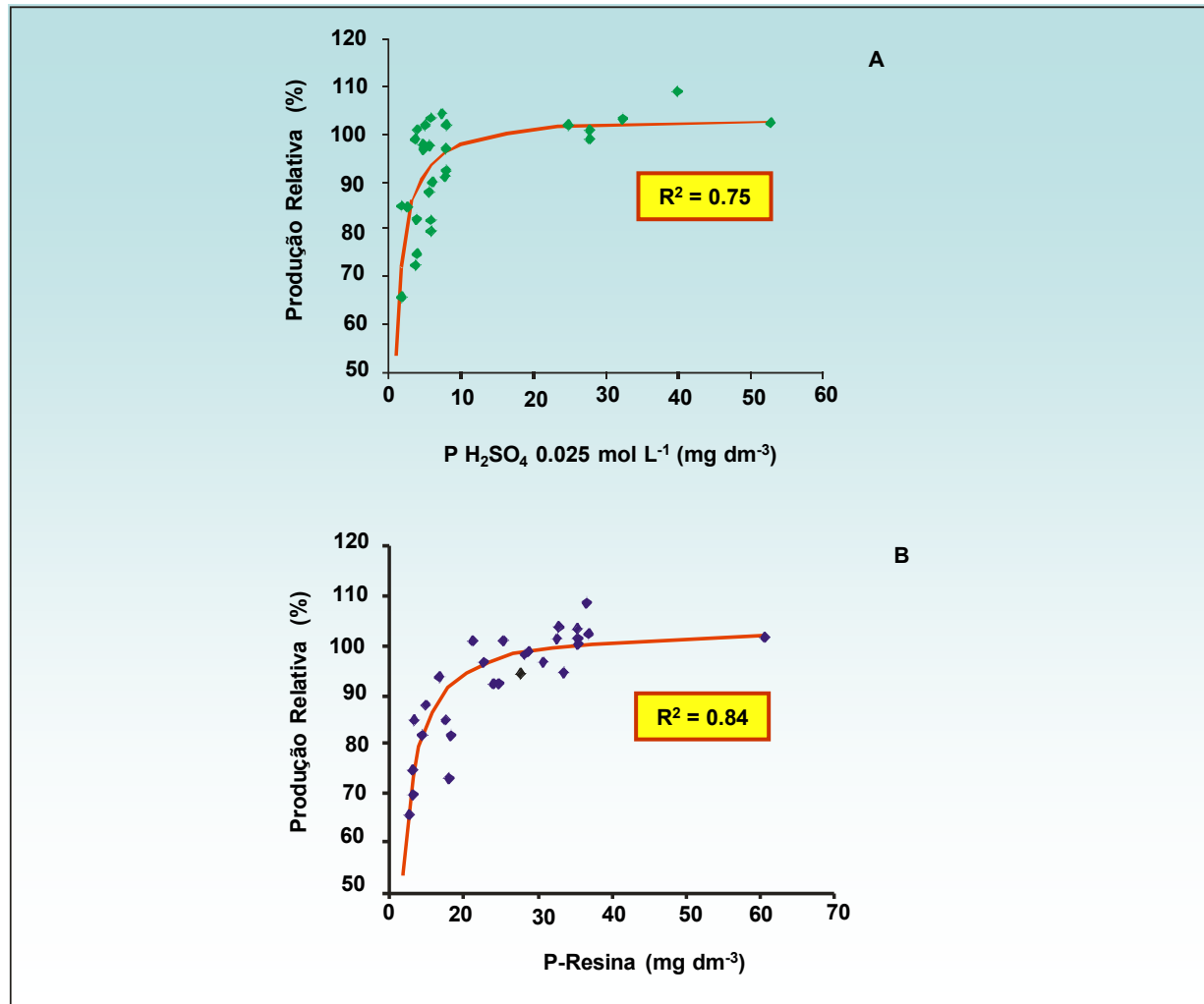
# AJUSTES NECESSÁRIOS PARA A AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO ATRAVÉS DE MÉTODOS ANALÍTICOS

-PK

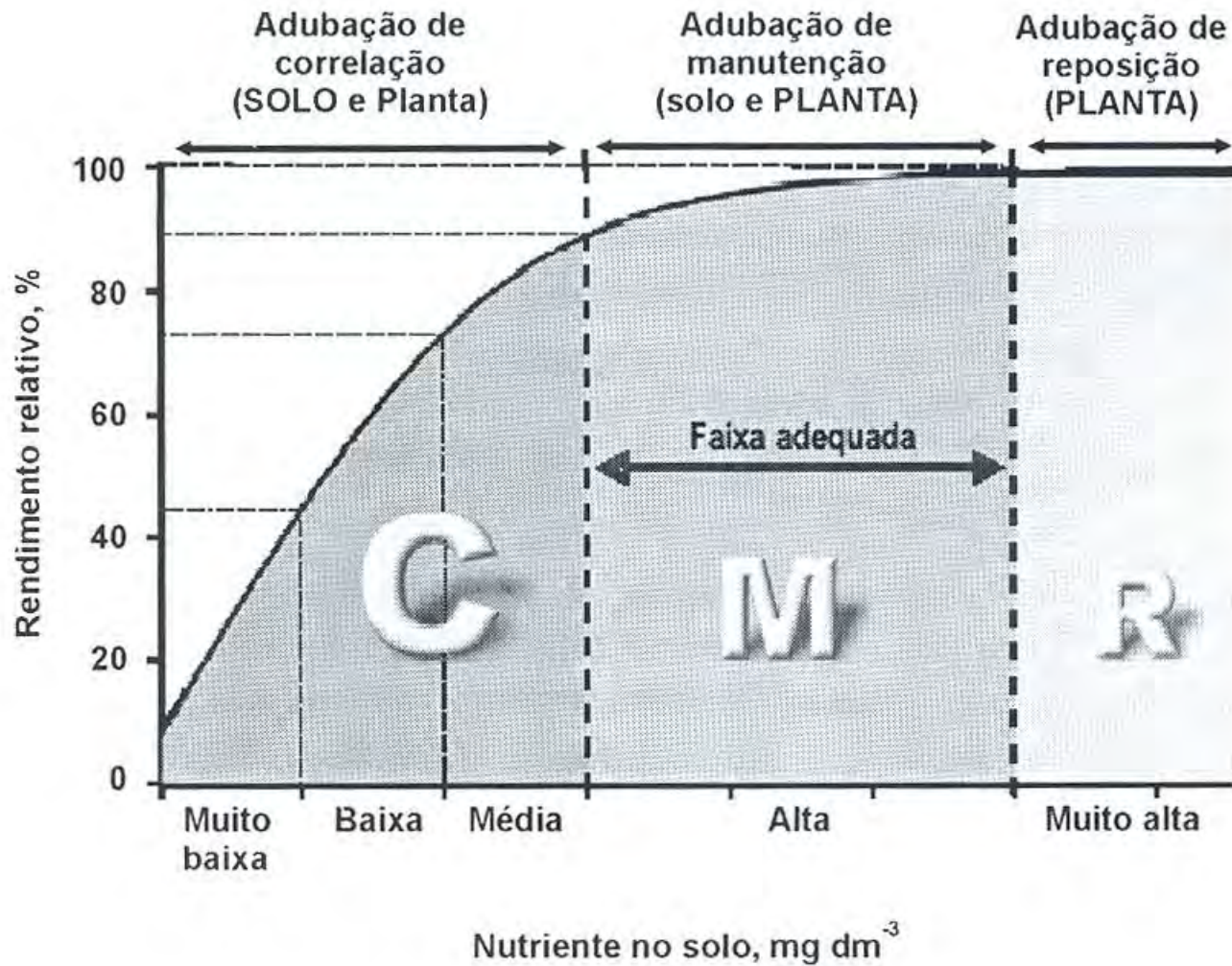
+PK

- ✓ Estudos de correlação (Qual metodologia ?)
- ✓ Estudos de calibração (Como interpretar ?)
- ✓ Curvas de resposta (Quanto adicionar ?)

# Estudos de Correlação



# Estudos de Calibração

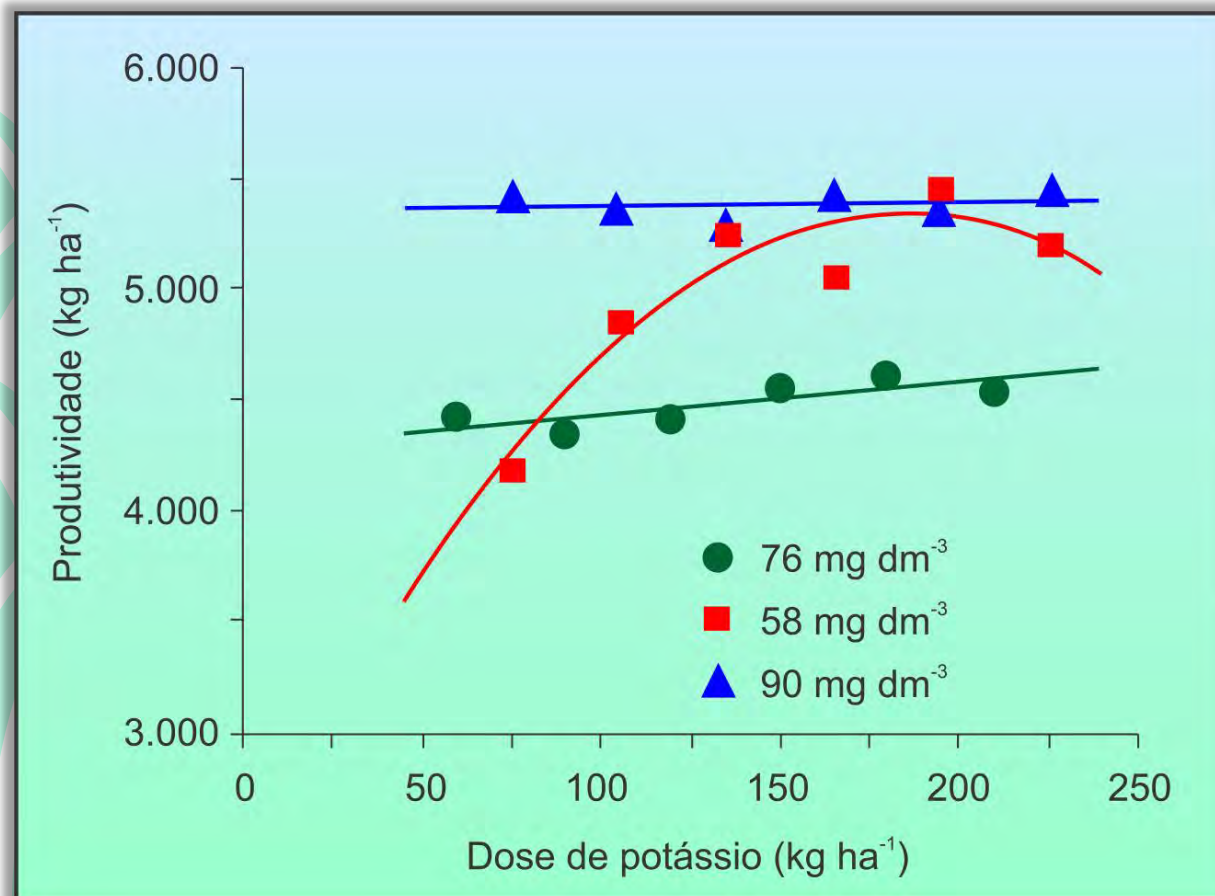


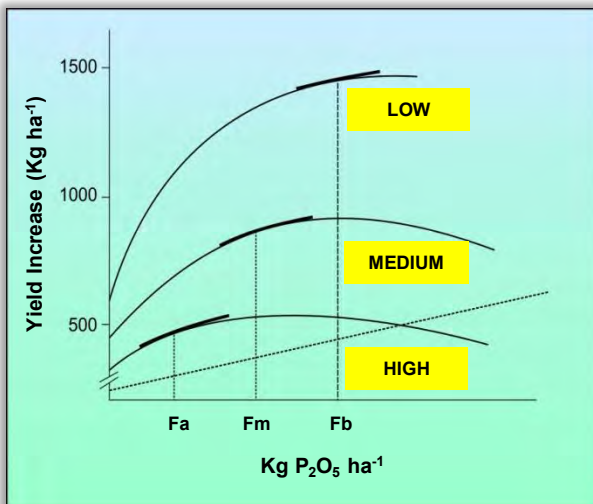
## Limites de interpretação de teores de potássio e de fósforo em solos

Teor	Produção relativa	K <sup>+</sup> trocável	P resina			
			Florestais	Perenes	Anuais	Hortaliças
	%	Mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	mg/dm			
Muito baixo	0-70	0,0-0,7	0-2	0-5	0-6	0-10
Baixo	71-90	0,8-1,5	3-5	6-12	7-15	11-25
Médio	91-100	1,6-3,0	6-8	13-30	16-40	26-60
Alto	>100	3,1-6,0	9-16	31-60	41-80	61-120
Muito alto	>100	>6,0	>16	>60	>80	>120



## Resposta do algodoeiro ao potássio em experimentos realizados no Estado de Mato Grosso, em solos com $58 \text{ mg dm}^{-3}$ , $76 \text{ mg dm}^{-3}$ e $90 \text{ mg dm}^{-3}$ de potássio





# Tabela de Adubação

**Adubação mineral de plantio: Aplicar de acordo com a análise de solo e a produtividade esperada.**

Yield	Nitrogênio	P resina, mg/dm <sup>3</sup>				K <sup>+</sup> trocável, mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>			
		0-6	7-15	16-40	>40	0-0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	>3,0
t/ha	N, kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , kg/ha				K <sub>2</sub> O, kg/ha (²)			
2-4	10	60	40	30	20	50	40	30	0
4-6	20	80	60	40	30	50	50	40	20
6-8	30	90	70	50	30	50	50	50	30
8-10	30	(¹)	90	60	40	50	50	50	40
10-12	30	(¹)	100	70	50	50	50	50	50

### IMPORTANTE NOTAR QUE:

A DOSE É DEFINIDA POR ESTUDOS DE CURVA DE RESPOSTA, PARA CADA CLASSE DE TEOR (ESTUDOS DE CALIBRAÇÃO), PARA DETERMINADO MÉTODO ANALÍTICO (ESTUDOS DE CORRELAÇÃO), PARA DETERMINADA FORMA DE COLETA DA AMOSTRA DE SOLO.

## PROCEDIMENTO DEVE SER ESPECÍFICO PARA:

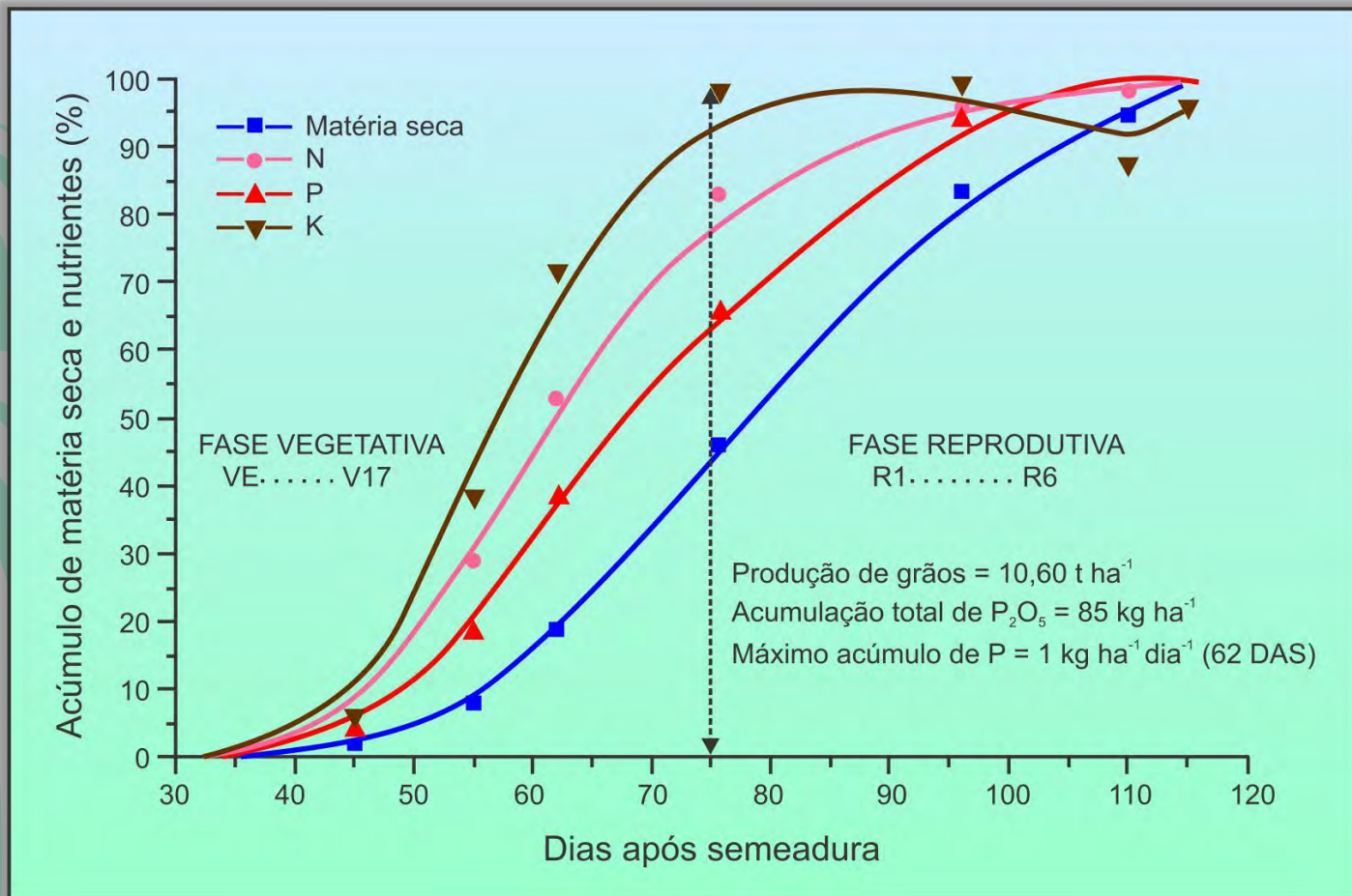
- ✓ Metodologia
- ✓ Área/região e solos considerados
  - ✓ Sistema de cultivo
- ✓ Profundidade de amostragem



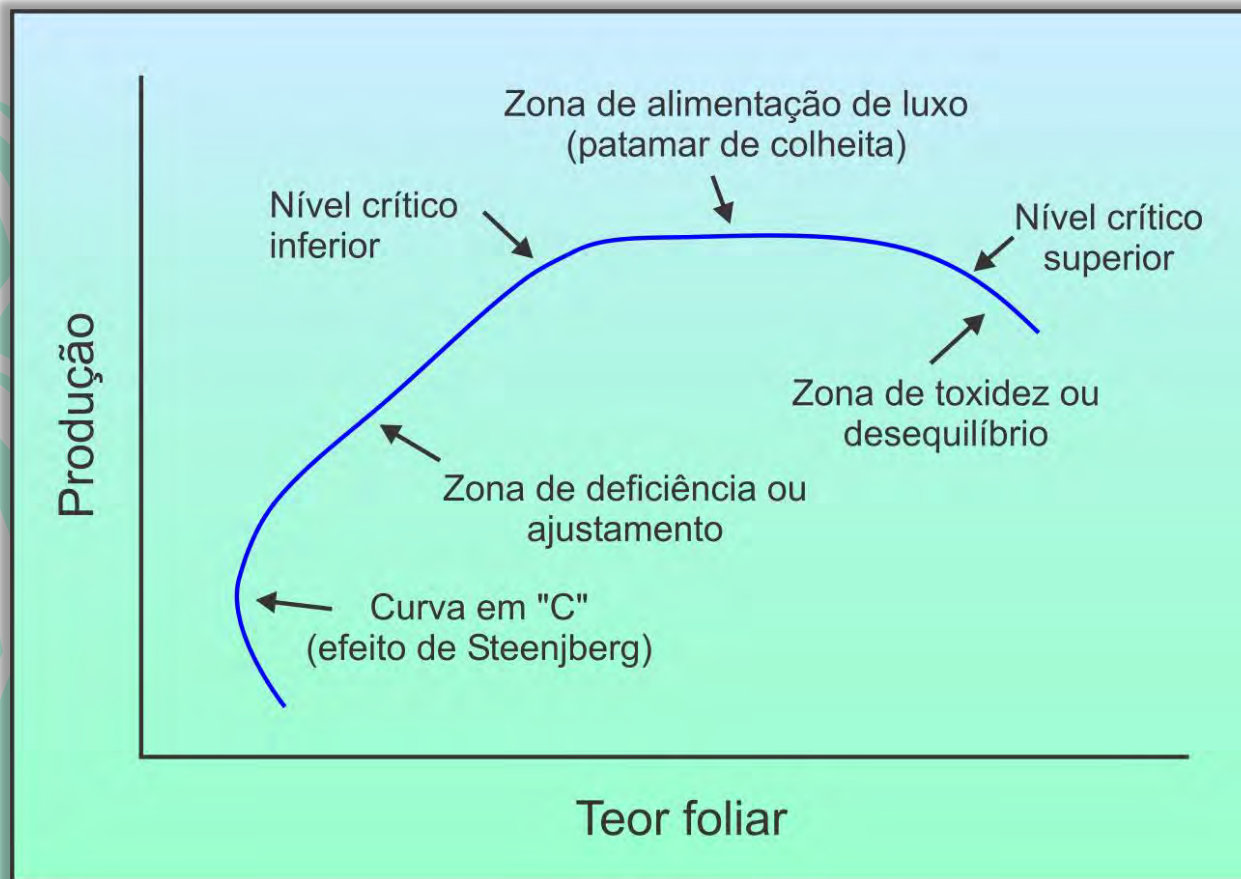
A low-angle photograph of three ears of ripe yellow corn against a clear blue sky. The sun is visible in the background, creating a bright flare and casting a soft glow on the corn. The corn cobs are arranged vertically, with the central one being the most prominent. The husks are partially visible at the bottom of each ear.

# NUTRIÇÃO DE PLANTAS

# Acúmulo de matéria seca, nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea de plantas de milho



# Representação geral da relação entre teor foliar e produção (ou matéria seca)



## DRIS

**Rendimento de soja e concentração de fósforo, cobre e boro nas folhas em função do fósforo aplicado para a sucessão soja-trigo, em Latossolo Roxo distrófico, safra 1998/1999, Londrina-PR**

Dose anual de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimento (kg ha <sup>-1</sup> )	Concentração nas folhas		
		P (g kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	B (mg kg <sup>-1</sup> )
0	2.884	2,75	10,3	75,9
50	3.539	3,62	11,3	69,1
80	3.542	3,82	8,26	50,7
110	3.193	4,31	7,53	44,6

**Rendimento de soja e índice DRIS para fósforo, cobre e boro nas folhas em função do fósforo aplicado para a sucessão soja-trigo, em Latossolo Roxo distrófico, safra 1998/1999, Londrina-PR**

Dose anual de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimento (kg ha <sup>-1</sup> )	Índice DRIS		
		P	Cu	B
0	2.884	- 9,9	3,3	22,2
50	3.539	2,8	6,5	16,9
80	3.542	3,8	-7,4	3,6
110	3.193	16,6	- 8,3	2,4

<http://www.ipni.org.br>



# Exemplos de sintomas de deficiência em plantas comerciais



**N em milho**



**P em milho**

<http://media.ipni.net/>



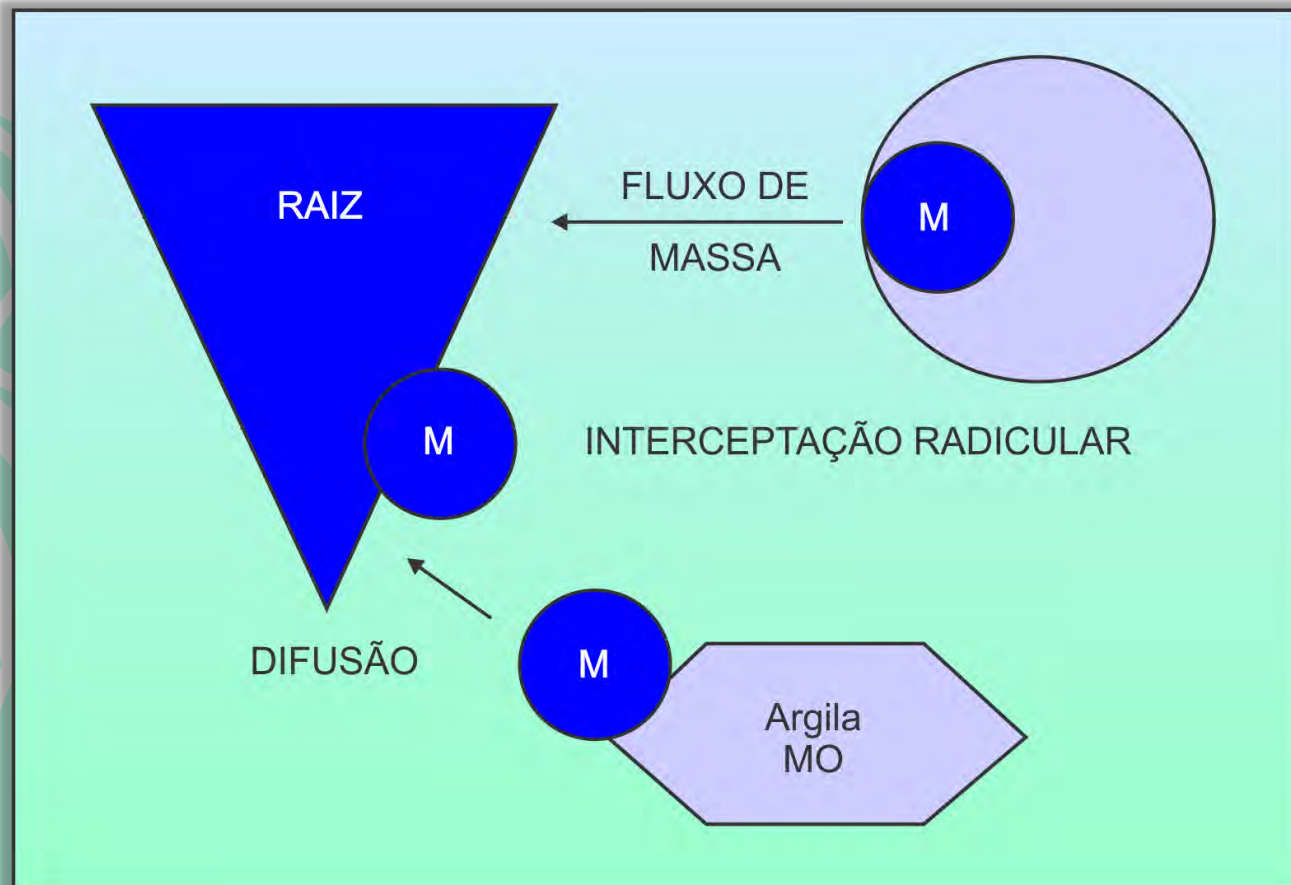
**K em soja**



**Zn em algodão**



# Representação esquemática dos mecanismos de contato íon-raiz



## 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	25	72	Próximo das raízes, 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	Distante, em cobertura (parte)
Cobre <sup>1</sup>	15	5	80	Próximo das raízes
Ferro <sup>1</sup>	40	10	50	Próximo das raízes
Manganês <sup>1</sup>	15	5	80	Próximo das raízes
Zinco <sup>1</sup>	20	20	60	Próximo das raízes
Molibdênio <sup>2</sup>	5	95	0	Em cobertura (parte)

(1) Complementação com aplicação foliar.

(2) Aplicação via semente e/ou foliar.

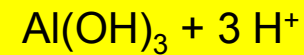
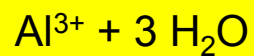
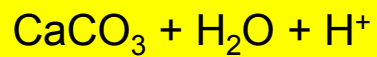


# ACIDEZ E CALAGEM



2 10 2008

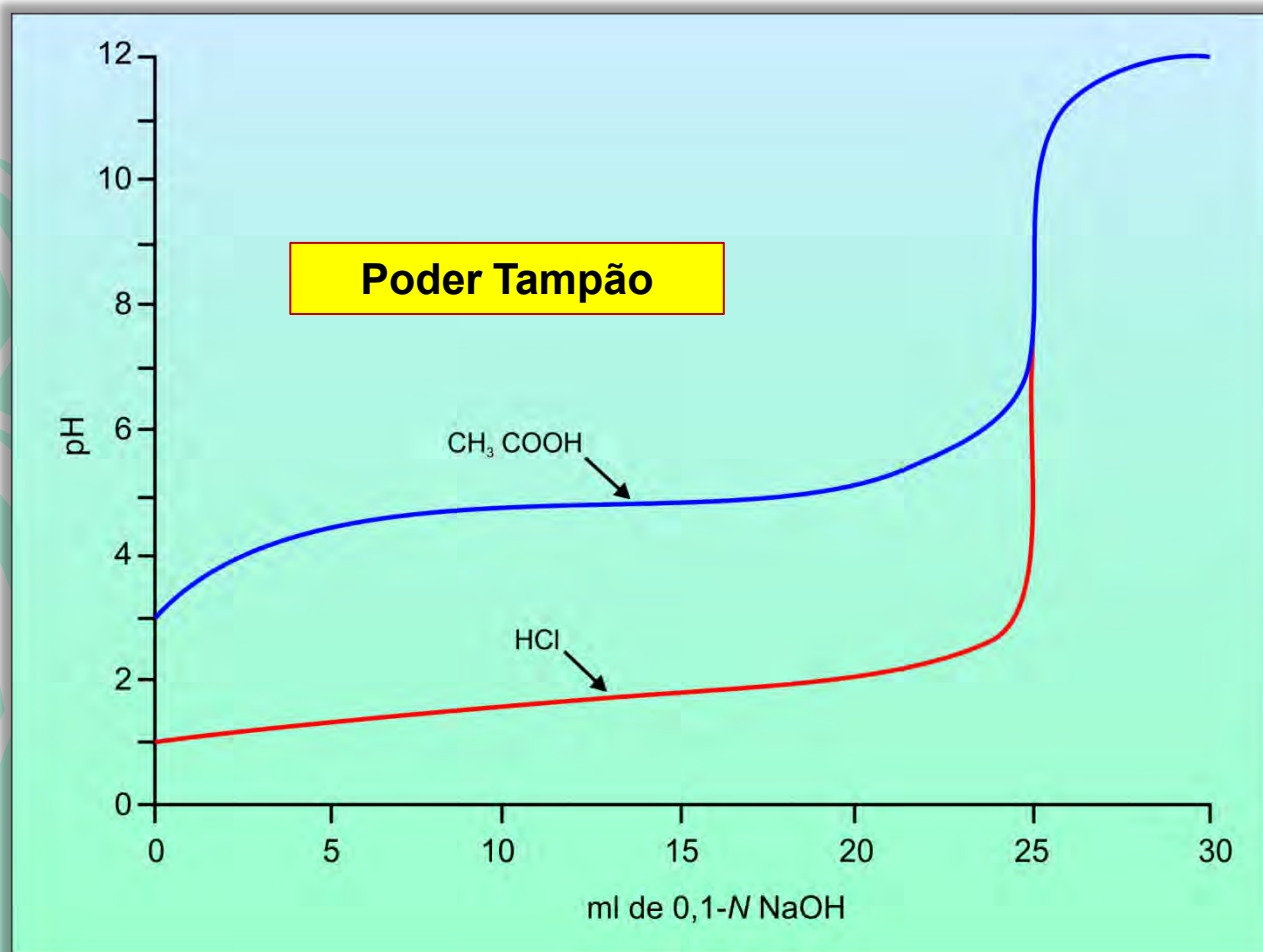
## Reações envolvidas na correção da acidez do solo



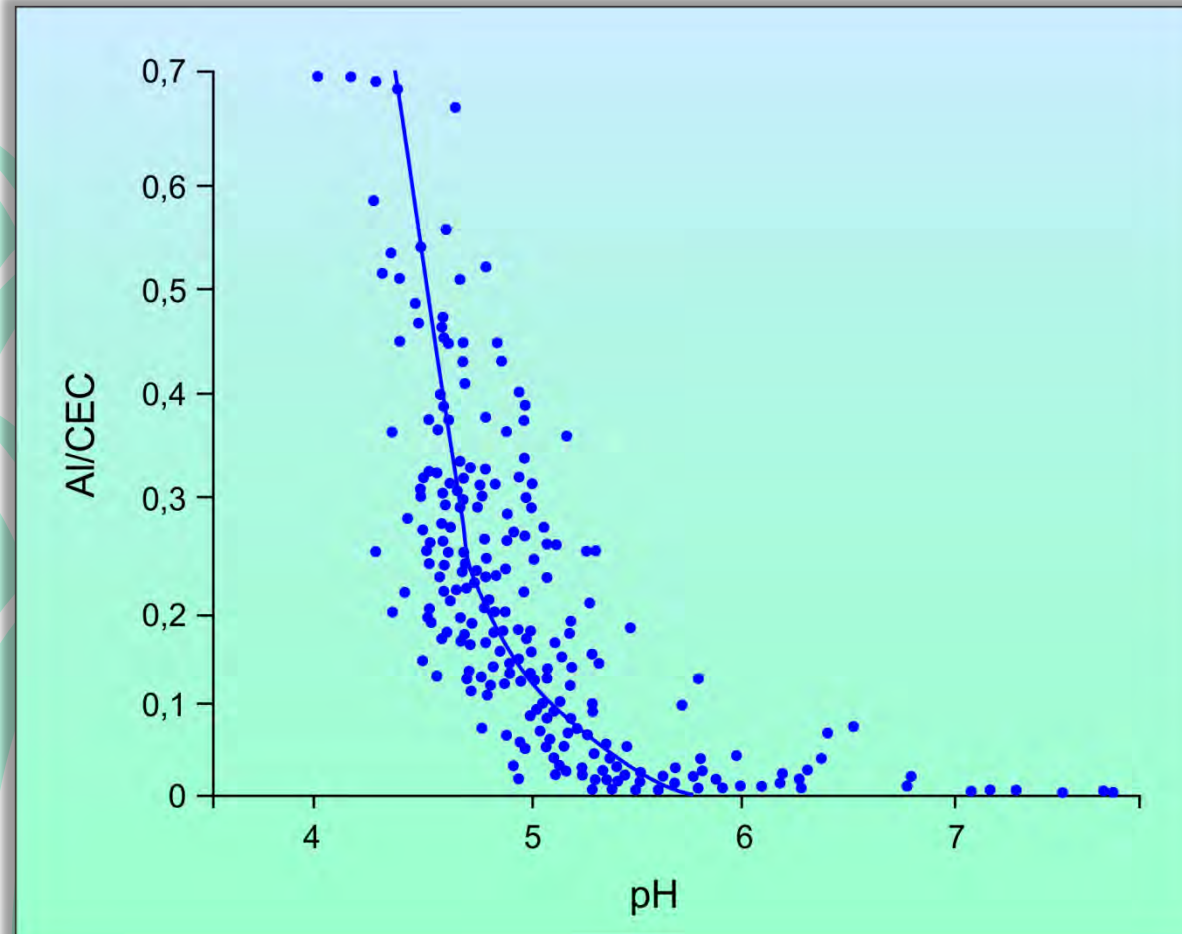
- (1) Neutralização da acidez ( $\text{H}^+$ )
- (2) Hidrólise do  $\text{Al}^{3+}$  gera acidez
- (3) Imobilização do  $\text{Al}^{3+}$
- (4) Necessitamos de uma base forte



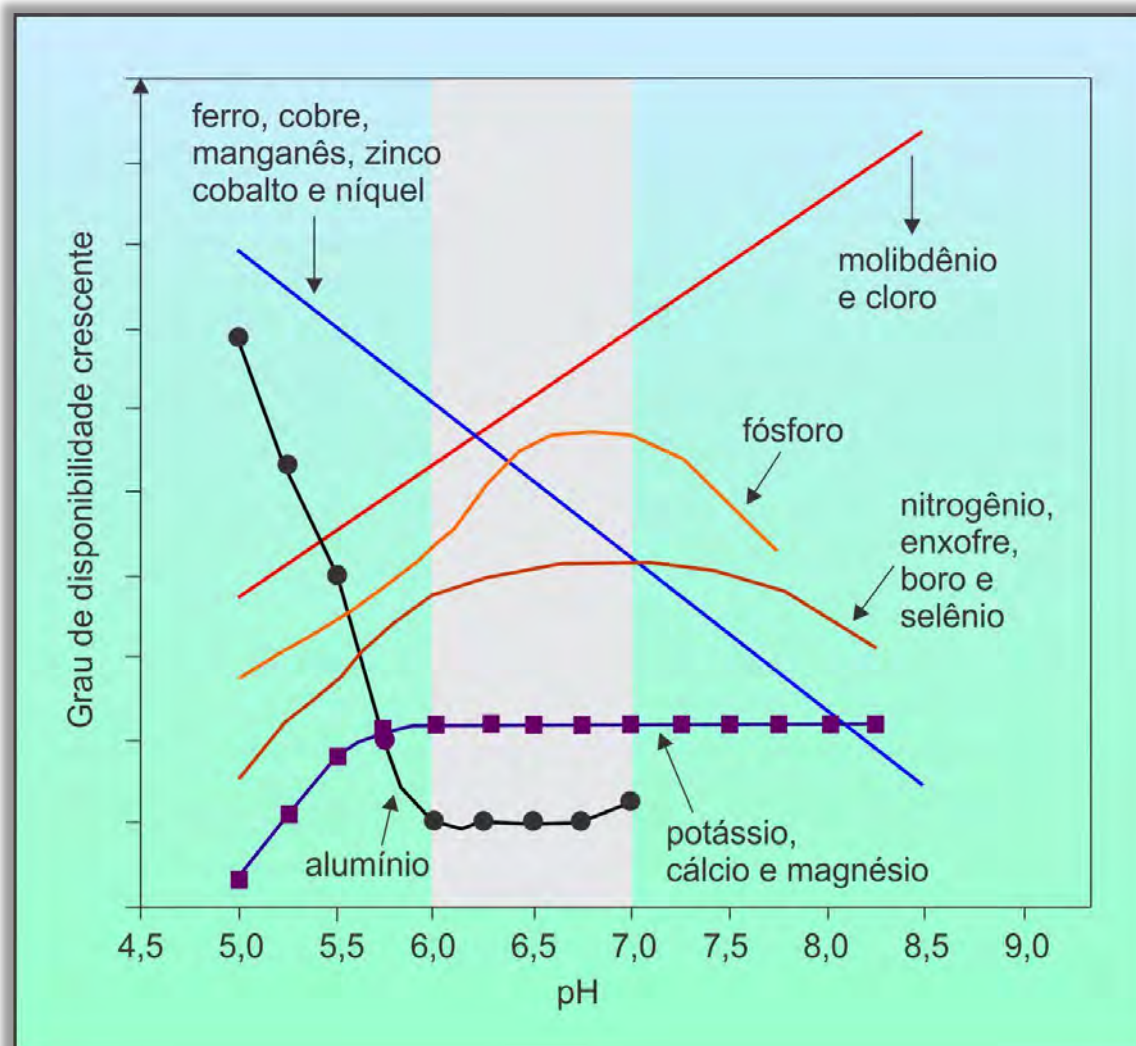
# Análise volumétrica: 0,10-N $\text{CH}_3\text{COOH}$ e 0,10-N $\text{HCl}$ com 0,1-N $\text{NaOH}$



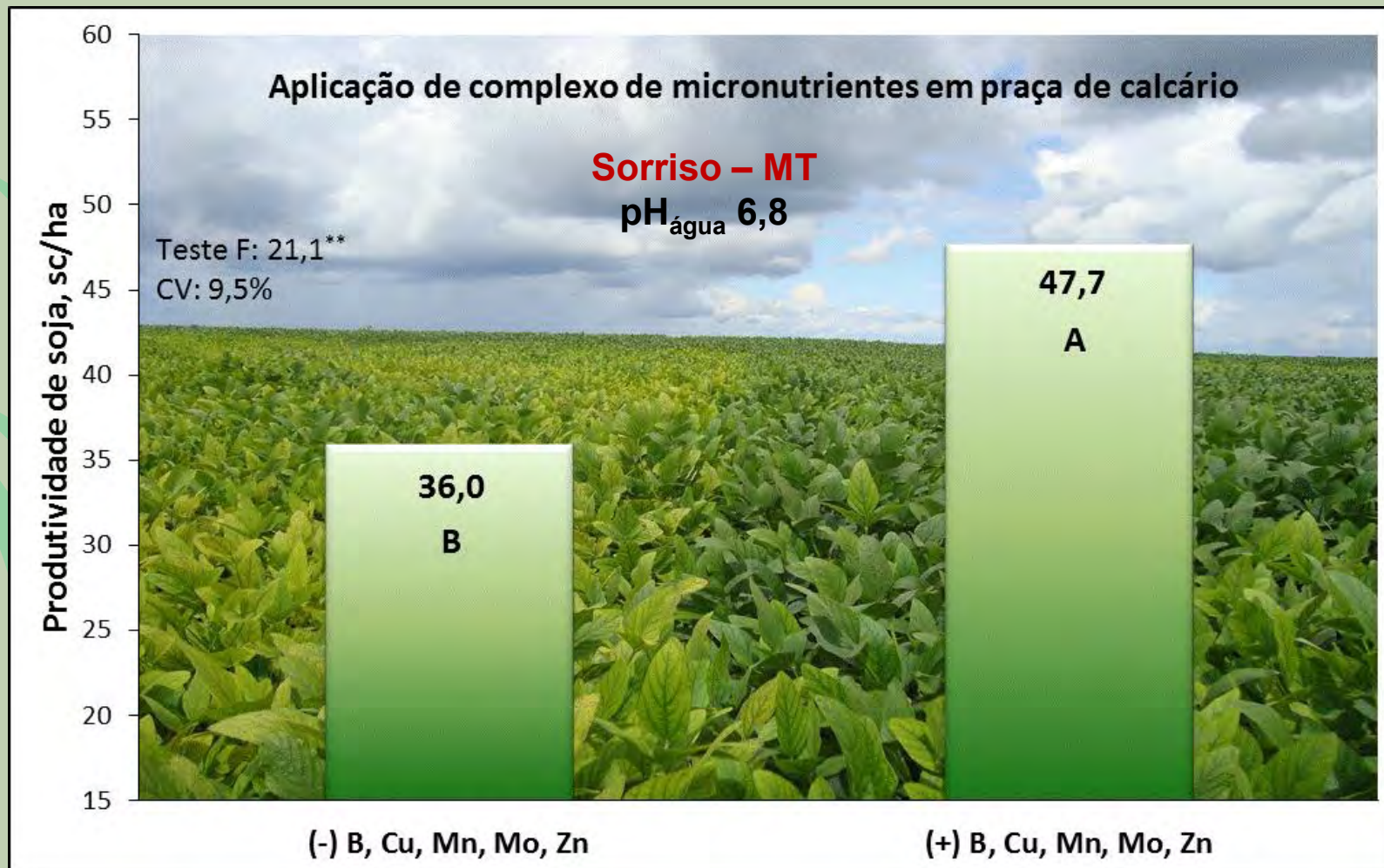
Com o aumento do pH do solo, a saturação por  $Al^{3+}$  diminui. Na maioria dos solos, pouco ou nenhum efeito de toxicidade de  $Al^{3+}$  no crescimento das plantas é observado acima de pH 5,0-5,5



# PH X DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES



# Efeito da correção da acidez na disponibilidade de micronutrientes no solo

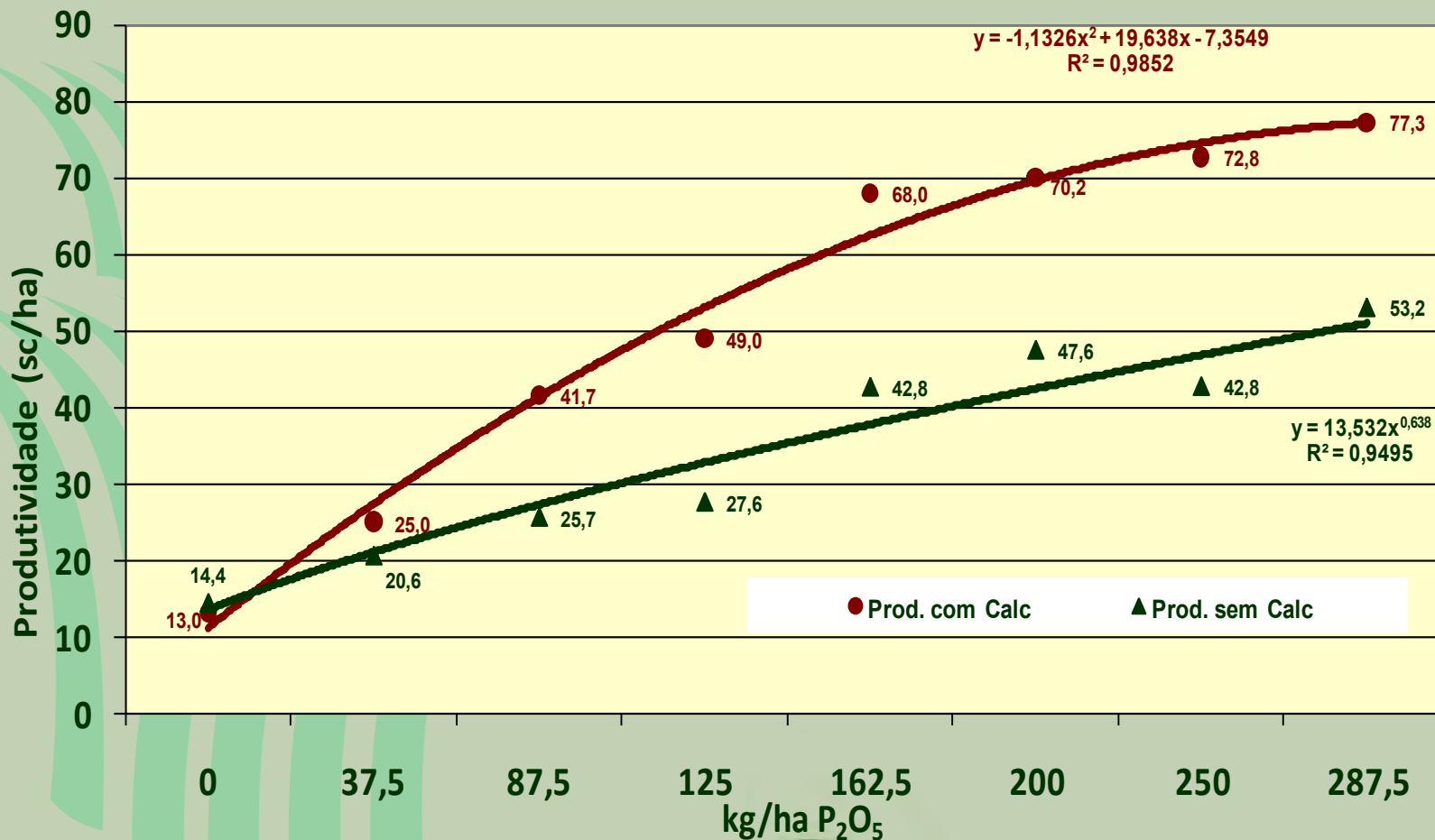


Fonte: Fundação MT/PMA (safra 2011/12)



# Efeito da correção da acidez na produtividade das culturas

Produtividade da soja em função da quantidade de fósforo aplicada no sulco de plantio, em solo argiloso. 1º ano de cultivo. Safra 1999/2000, Sapezal-MT.

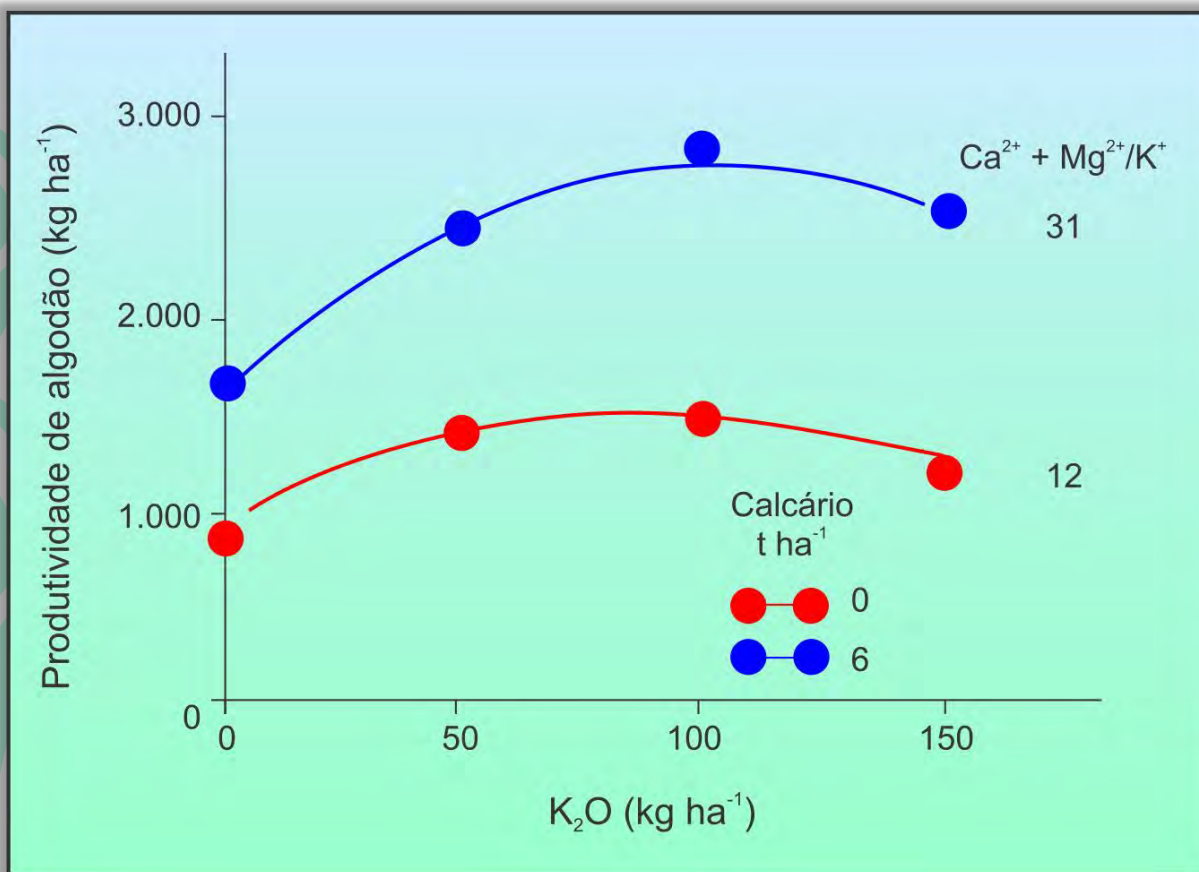


Fonte: Fundação MT/PMA

# Importância da correção da acidez para a fixação simbiótica de nitrogênio



# Influência da adubação potássica na produtividade de algodão, de acordo com o equilíbrio de bases do solo, sem e com calagem

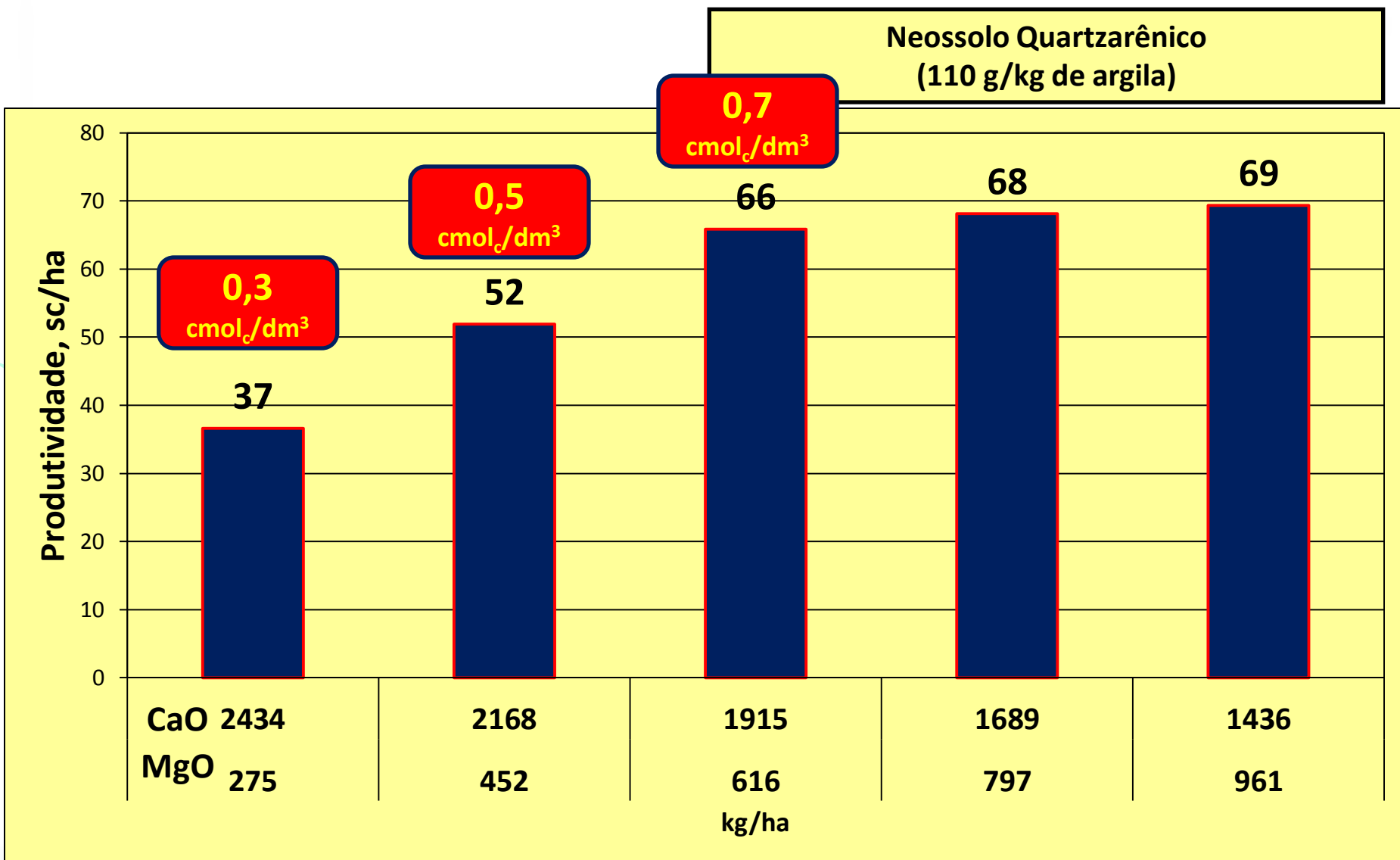


Fonte: Silva e outros (1984).



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

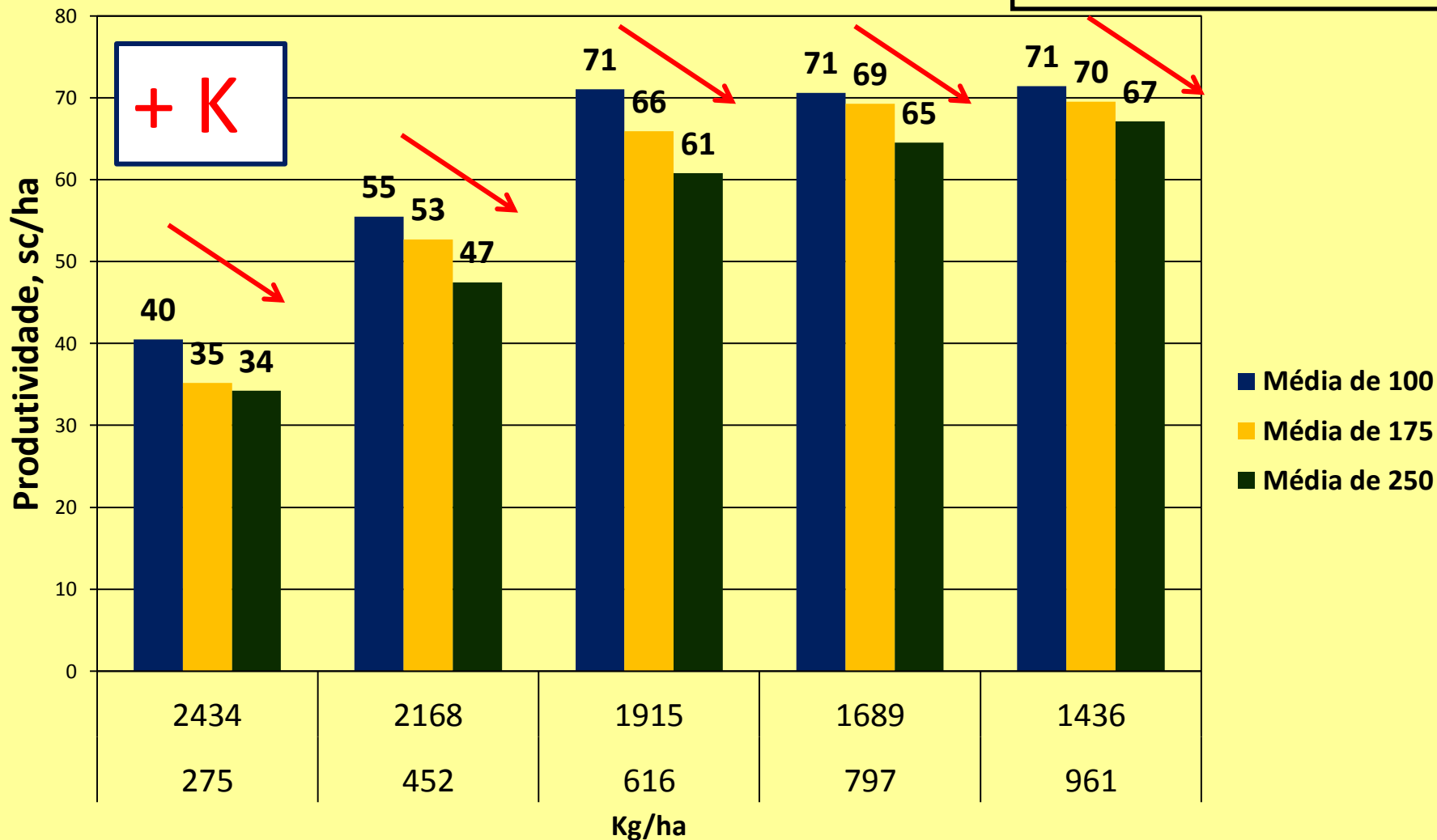
# Impacto do tipo de calcário na produtividade de soja



Fonte: Fundação MT/PMA – Safra 2009/2010

# Impacto do tipo de calcário na produtividade de soja

Neossolo Quartzarênico  
(110 g/kg de argila)

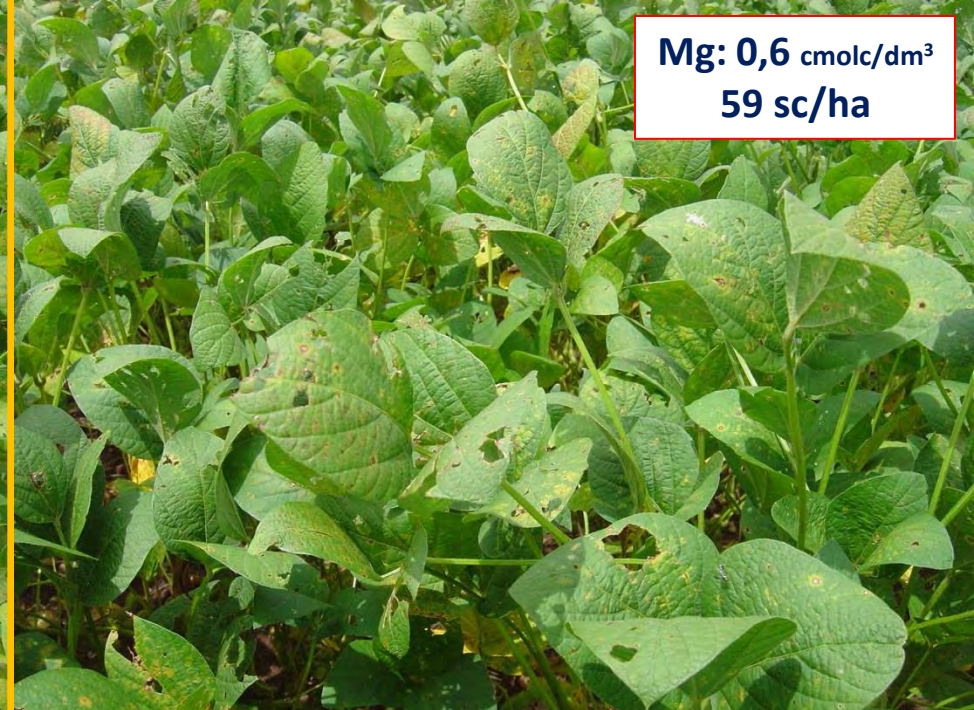


Fonte: Fundação MT/PMA – Safra 2009/2010

**Mg: 0,3 cmolc/dm<sup>3</sup>**  
**55 sc/ha**



**Mg: 0,6 cmolc/dm<sup>3</sup>**  
**59 sc/ha**



**Mg: 0,7 cmolc/dm<sup>3</sup>**  
**62 sc/ha**



**Mg: 0,9 cmolc/dm<sup>3</sup>**  
**64 sc/ha**



Fonte: Fundação MT/PMA – Safra 2009/2010

# Manejo da acidez do solo

Quantidade de calcário calculada pelo método da saturação por bases (t/ha) para alcançar 40, 50 e 60%, para áreas de primeiro ano de cultivo e vegetação de Cerrado e quantidade de calcário necessária para obter os valores desejados.

Lugar	V% inicial	V% desejada	Cal (t/ha) PRNT 80%	V% obtida	Cal (t/ha) necessária
Campo Novo	8.3	40	2,5	24.6	4.6
Parecis-MT	8.3	50	3,3	30.6	5.8
	8.3	60	4,1	36.7	6.9
Nova Mutum-MT	9.0	40	2,8	26.8	4.1
	9.0	50	3,7	33.8	5.6
	9.0	60	4,7	39.4	7.4

Fonte: Fundação MT/PMA – Dados não publicados



Imagens: Márcio Veronese, Fundação MT/PMA



# Importância da qualidade operacional



IMAGENS: MÁRCIO VERONESE, FUNDAÇÃO MT/PMA (2012)



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE



2 10 2008



27 10 2008



27 10 2008

# Efeito direto da qualidade operacional no cultivo

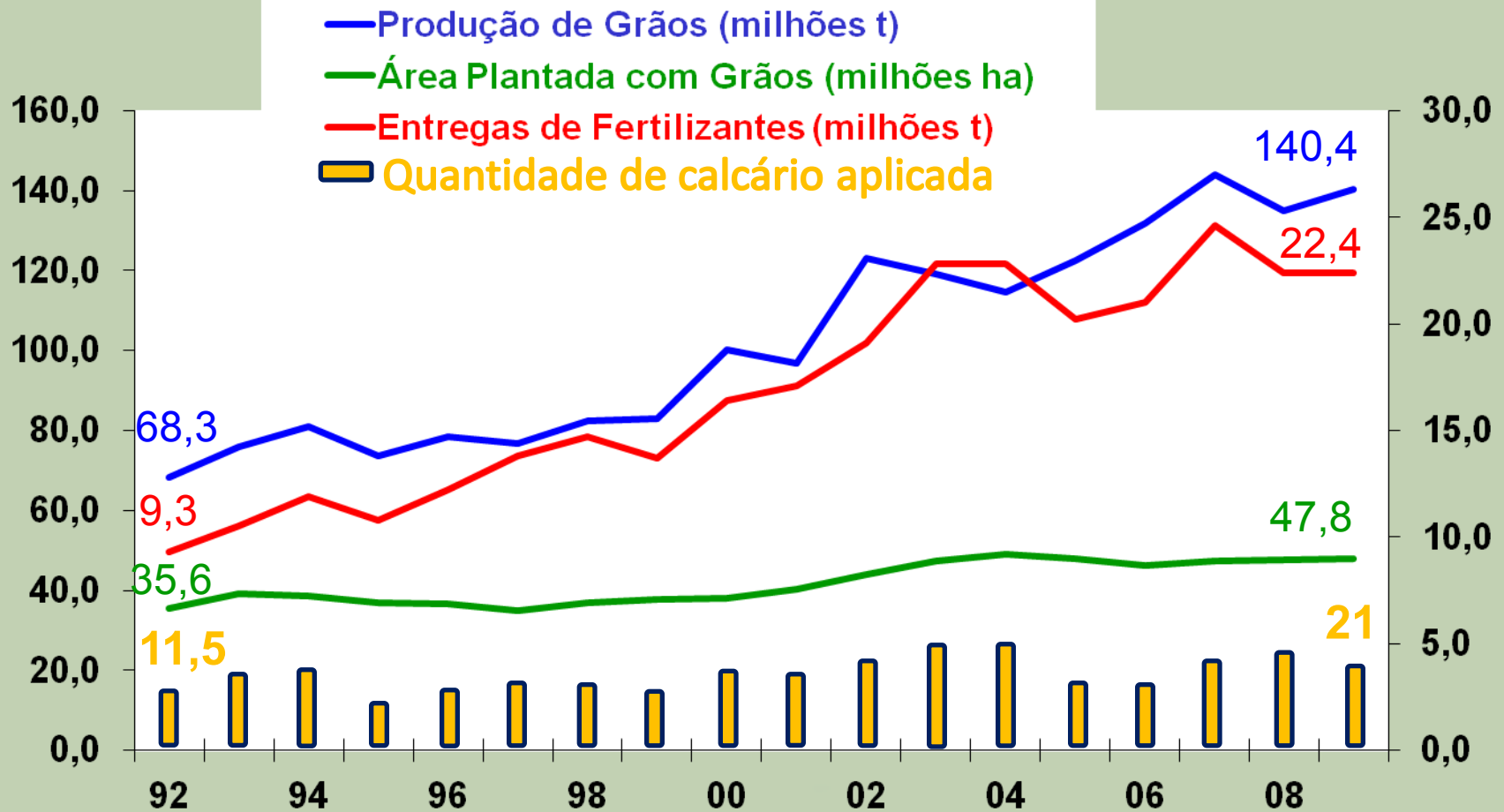


Fuente: Haroldo Hoogerheide, Fundação MT (2010).



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

# Produção de grãos, área cultivada e quantidade de NPK na agricultura brasileira (1992-2009)



Fuente: ANDA/CONAB/IBGE 2009 - estimativa

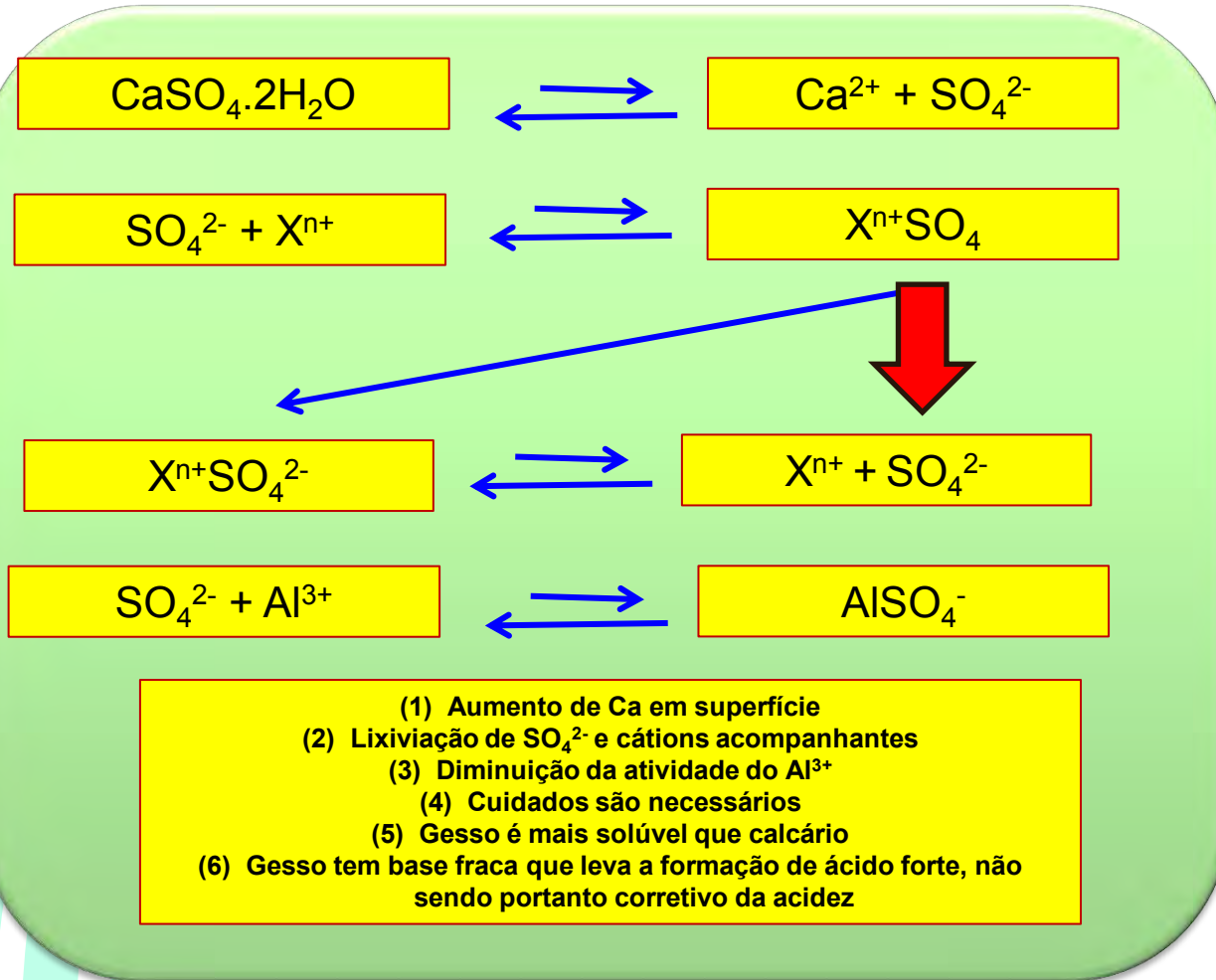


IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

# GESSO E GESSAGEM



## Reações envolvidas na gessagem do solo



**Desenvolvimento das raízes do algodoeiro em profundidade, em ausência e em presença de gesso (cada quadrícula mede 15 cm x 15 cm), por ocasião da floração plena, em 22 de março de 2006**



**Sem gesso**



**3 t ha<sup>-1</sup> de gesso**

# EFEITO DE APLICAÇÕES DE GESSO NA DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES DE VÁRIAS CULTURAS AO LONGO DE PERFIS DE SOLOS ALTAMENTE INTEMPERIZADOS

PROF.	MILHO ÁFRICA DO SUL <sup>(1)</sup> DENSIDADE DE RAÍZES		MILHO BRASIL <sup>(2)</sup> DISTR. RELATIVA DE RAÍZES		MAÇA BRASIL <sup>(3)</sup> DENSIDADE DE RAÍZES		ALFAFA GEORGIA <sup>(4)</sup> COMPRIMENTO DE RAÍZES	
	T <sup>(5)</sup>	G <sup>(6)</sup>	T	G	T	G	T	G
CM	M/DM <sup>3</sup>		%		CM/G		M/M <sup>3</sup>	
0-15	3,10	2,95	53	34	50	119	115	439
15-30	2,85	1,60	17	25	60	104	30	94
30-45	1,80	2,00	10	12	18	89	19	96
45-60	0,45	3,95	8	19	18	89	10	112
60-75	0,08	2,05	2	10	18	89	6	28

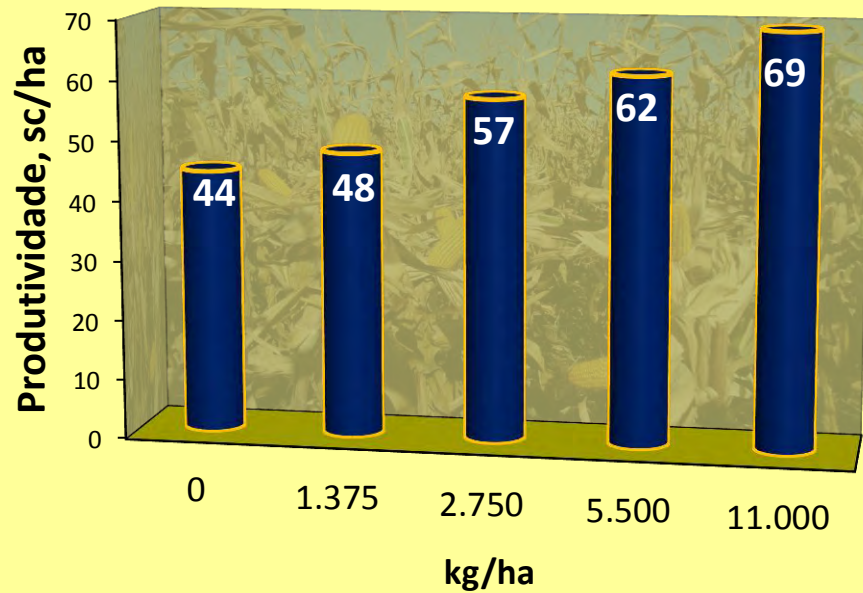
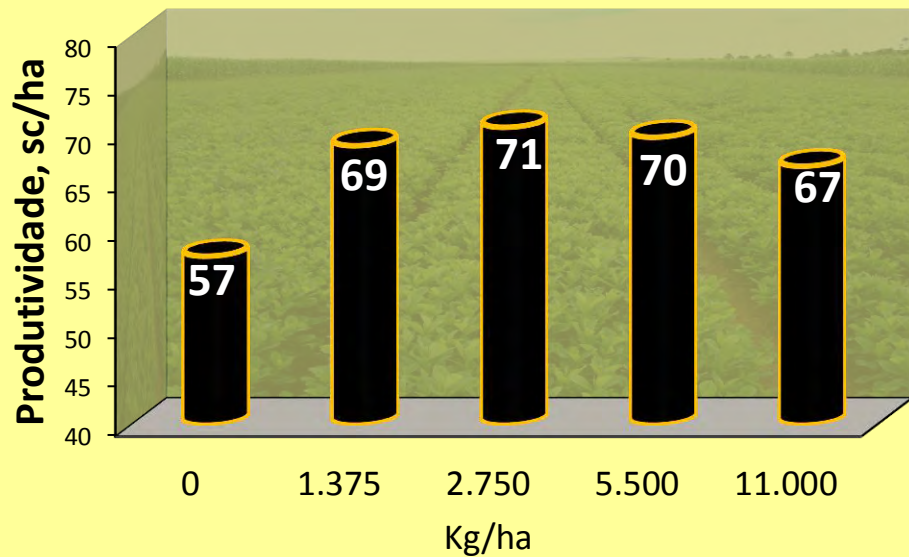
**FORNTE:** <sup>(1)</sup> FARINA & CHANNON, 1988; <sup>(2)</sup> SOUZA & RITCHEY, 1986; <sup>(3)</sup> PAVAN, 1991; <sup>(4)</sup> SUMNER & CARTER, 1988; <sup>(5)</sup> TESTEMUNHA; <sup>(6)</sup> GESSO.



**IPNI** INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

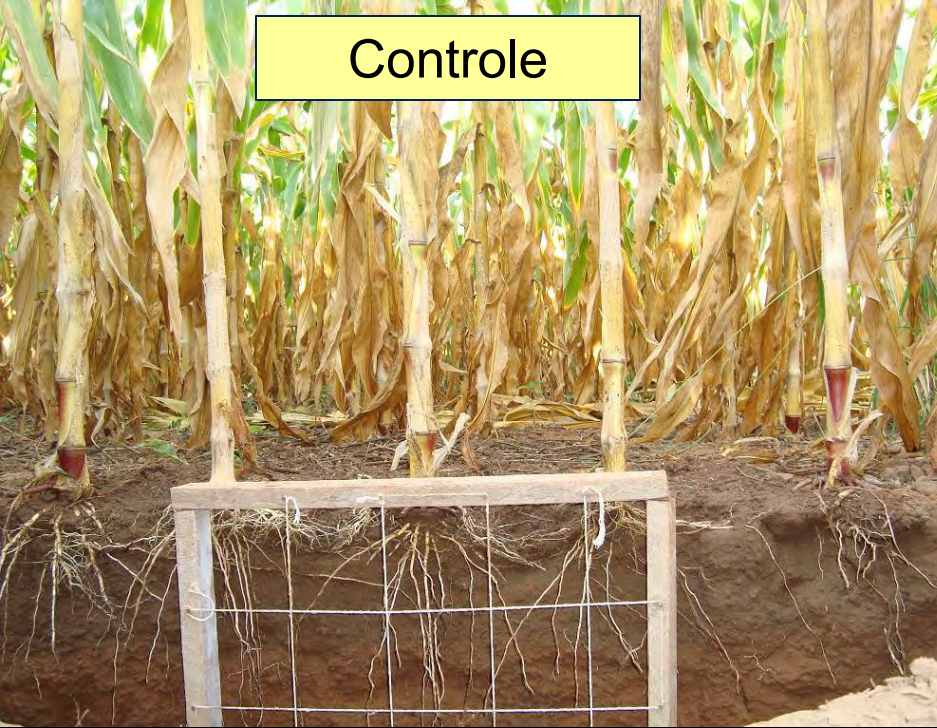


# Efeito da gessagem na produtividade de soja e milho



Fonte: Fundação MT/PMA/Nutrion  
(safras 2008/09 e 2009/10)

Controle



2.750 kg/ha



11.000 kg/ha



Fonte: Fundação MT/PMA/Nutrion  
(safra 2009/10)



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

# Efeito da gessagem na produtividade de algodão



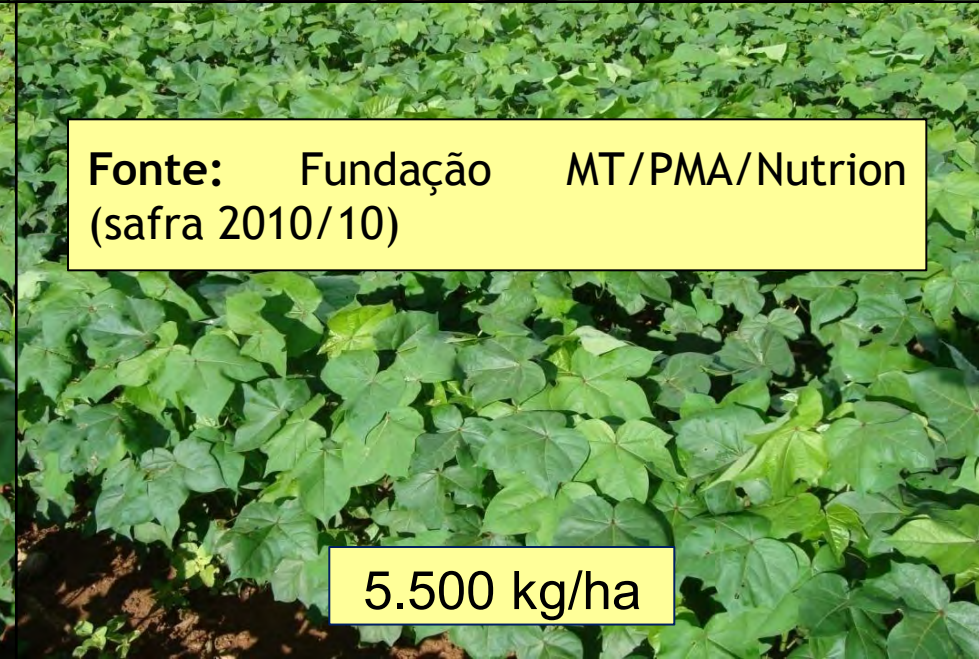
Controle



1.375 kg/ha



2.750 kg/ha



Fonte: Fundação MT/PMA/Nutrion  
(safra 2010/10)

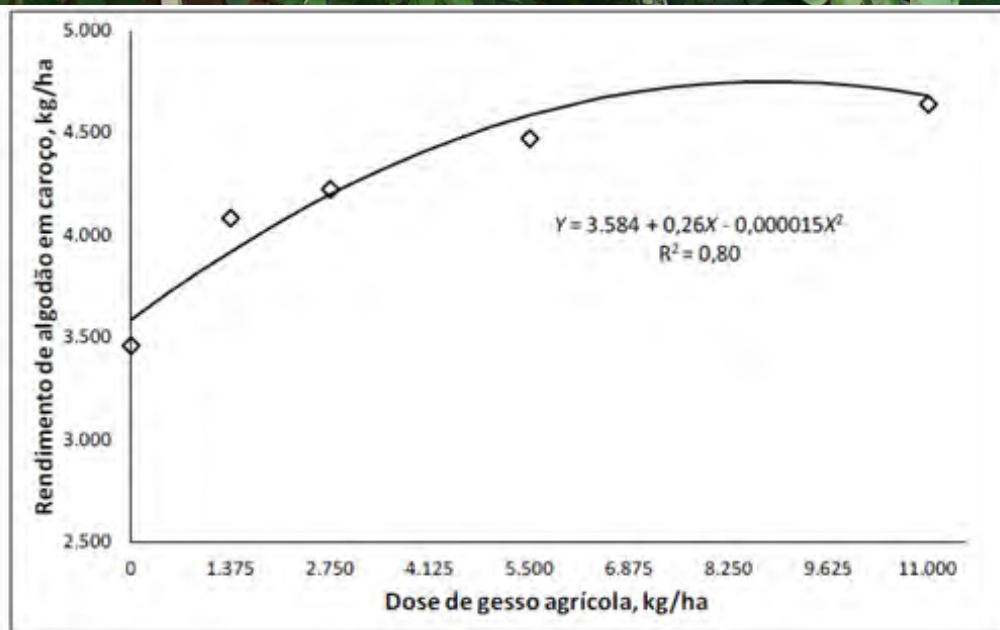
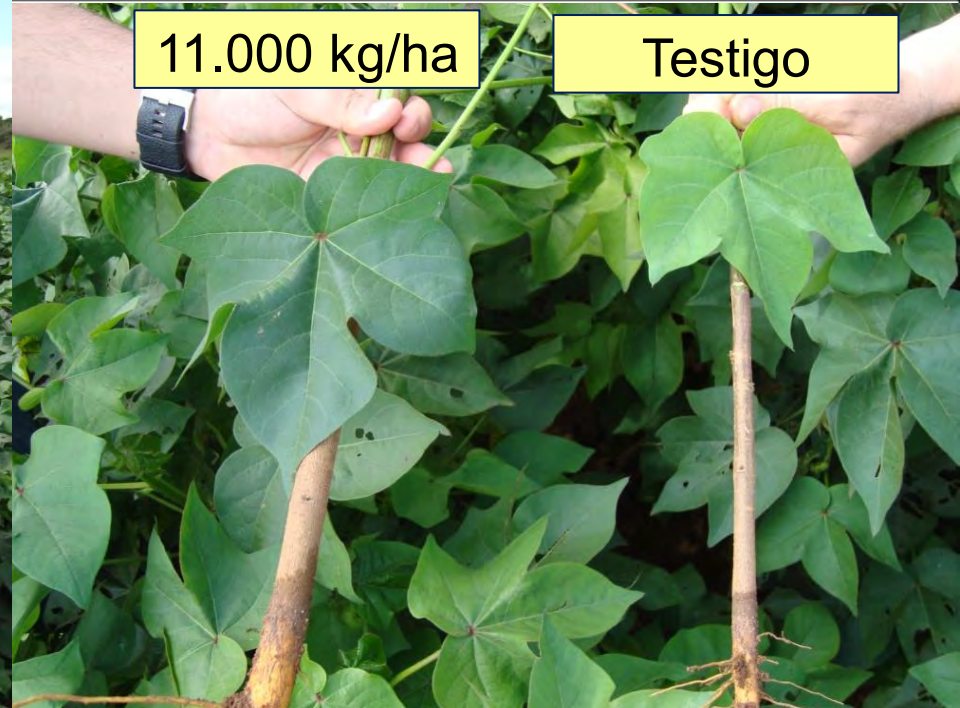
5.500 kg/ha

Testigo

2.750 kg/ha

11.000 kg/ha

Testigo



Fonte: Fundação MT/PMA/Nutrion (safra 2009/10)

Figura 1. Rendimento de algodão em caroço em função da dose de gesso agrícola com a cultivar FB 993, na Fazenda Água Quente, safra agrícola 2010/2011.



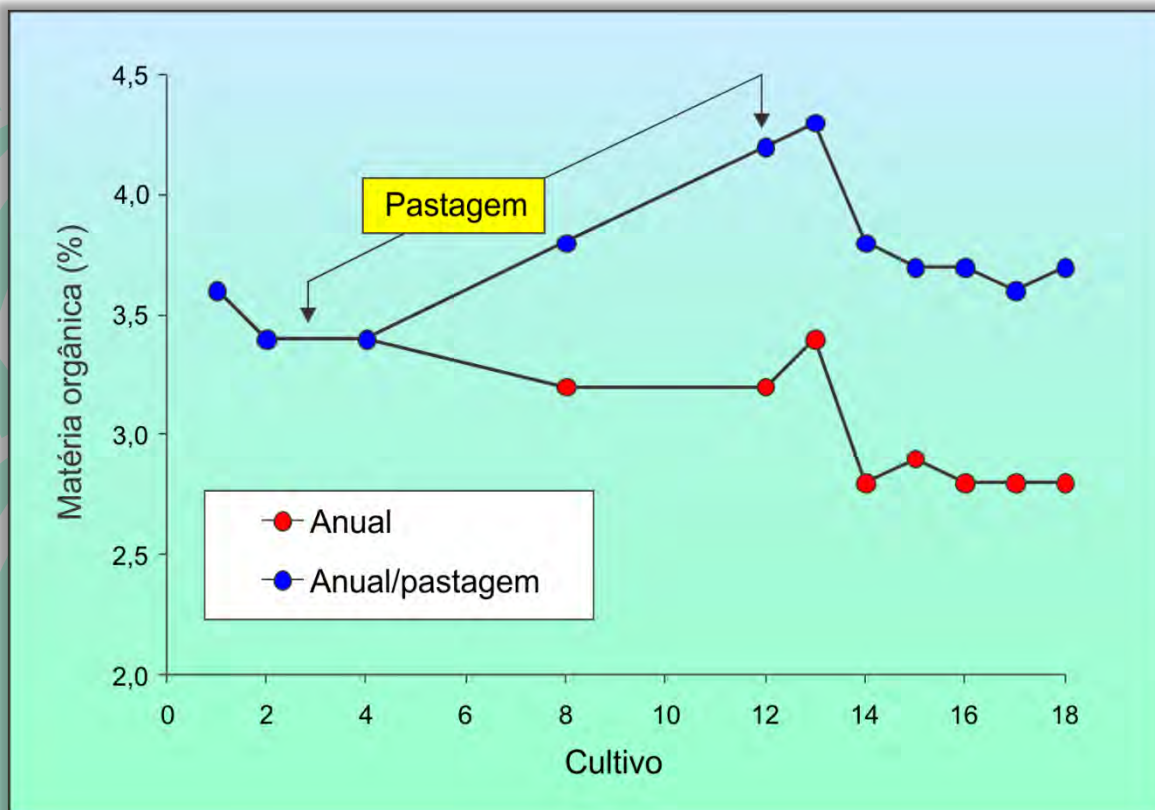
# **MATÉRIA ORGÂNICA**

## Contribuição da matéria orgânica do solo na CTC de solos de diferentes ambientes do território brasileiro

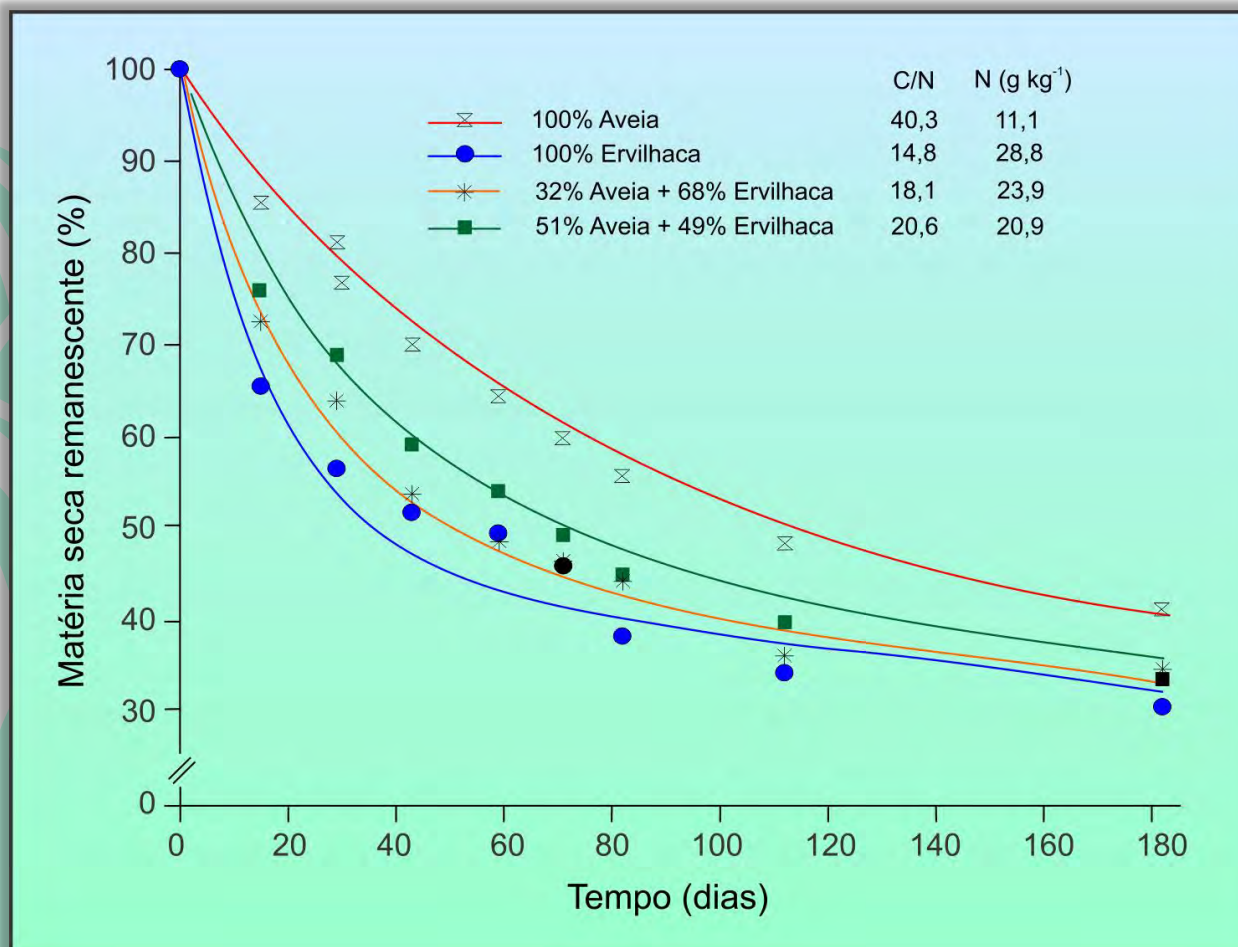
Região	Classes de solos avaliadas (nº)	% da CTC devida à matéria orgânica do solo	Fonte
Estado de São Paulo	16	70 a 74	Raij (1969)
Estado do Paraná	12	75 a 90	Pavan, Bingham e Pratt (1985)
Cerrados	14	75 a 85	Resck (1998)



**Dinâmica da matéria orgânica na camada de 0-20 cm de profundidade para os sistemas de cultivo anual-pastagem, em um período de 18 anos, em Latossolo muito argiloso (médias de 24 tratamentos com três repetições, em cada sistema)**



# Matéria seca remanescente na superfície do solo de resíduos culturais de aveia e ervilhaca solteiras e consorciadas



Fonte: Adaptada de AITA e GIACOMINI (2003).



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE



# ROTAÇÃO DE CULTURAS / SISTEMAS DE PRODUÇÃO



# EXEMPLOS DE NOVAS TÉCNICAS DISPONIBILIZADAS PELA PESQUISA – INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA



**SISTEMA SANTA FÉ: MILHO COM BRAQUIÁRIA PARA PASTEJO OU COBERTURA**

## EXEMPLOS DE NOVAS TÉCNICAS DISPONIBILIZADAS PELA PESQUISA – INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA



CONSÓRCIO DE MILHO COM CROTALÁRIA (*C. SPECTABILIS*). FONTE: FUNDAÇÃO  
MT/PMA.

# RECUPERAÇÃO DE P LA MUITO ARGILOSO, 22 ANOS

S. SIMPLES APLICADO	FÓSFORO RECUPERADO	
	ANUAIS <sup>1</sup>	ANUAIS E CAPIM <sup>2</sup>
KG/HA DE P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	----- % -----	
100	<b>44</b>	<b>85</b>
200	<b>40</b>	<b>82</b>
400	<b>35</b>	<b>70</b>
800	<b>40</b>	<b>62</b>

<sup>1</sup> A ÁREA FOI CULTIVADA POR DEZ ANOS COM SOJA, SEGUIDA DE UM PLANTIO COM MILHO E QUATRO CICLOS DA SEQÜÊNCIA MILHO-SOJA, DOIS CULTIVOS DE MILHO E UM DE SOJA.

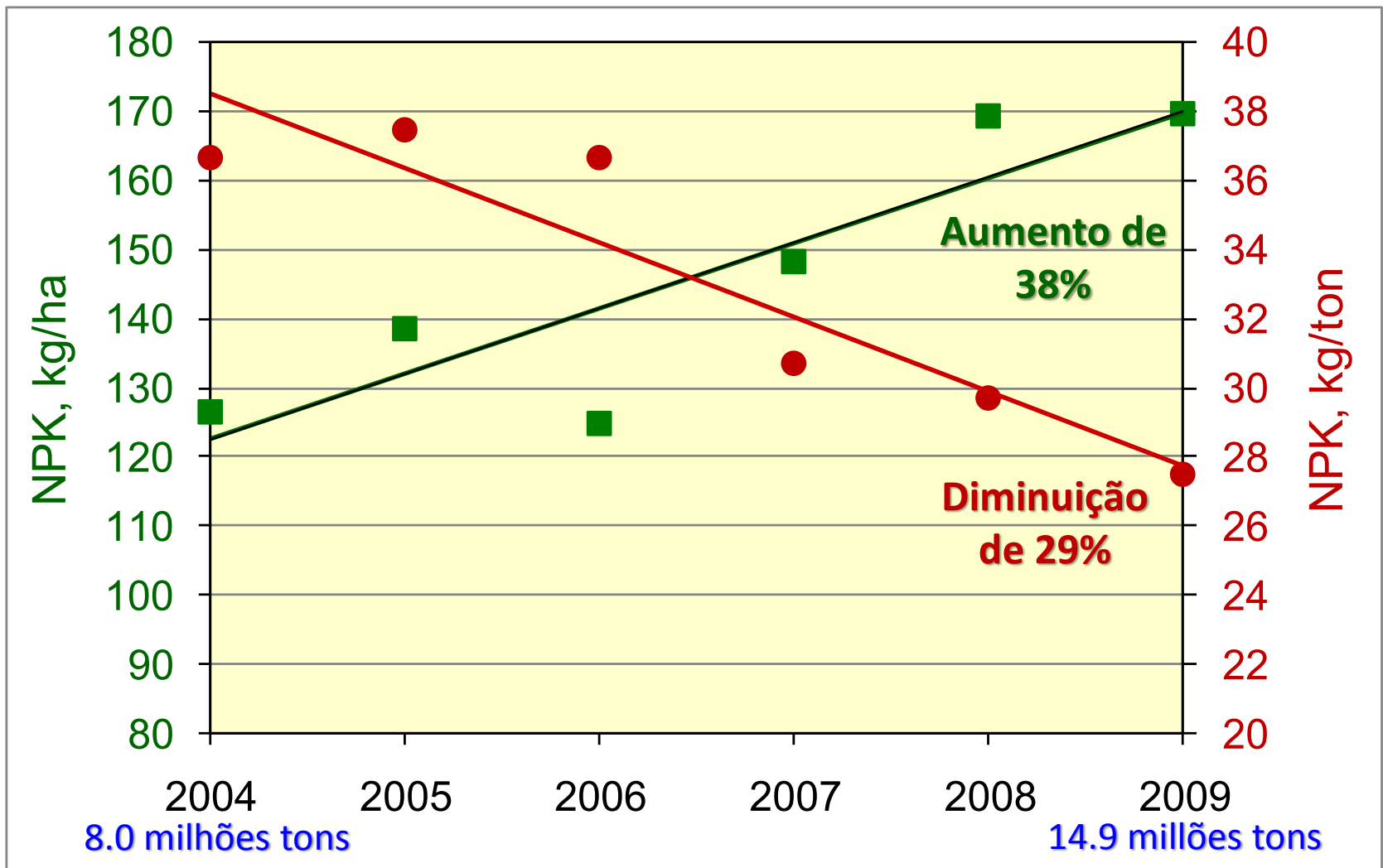
<sup>2</sup> A ÁREA FOI CULTIVADA POR DOIS ANOS COM SOJA, SEGUIDA DE NOVE ANOS COM BRAQUIÁRIA MAIS DOIS ANOS COM SOJA E DOIS CICLOS DA SEQÜÊNCIA MILHO-SOJA, E CINCO ANOS COM BRAQUIÁRIA.

**EXTRAÍDO DE DJALMA MARTINHÃO.**

**FONTE: SOUSA ET AL., 2007.**



**IPNI** INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE



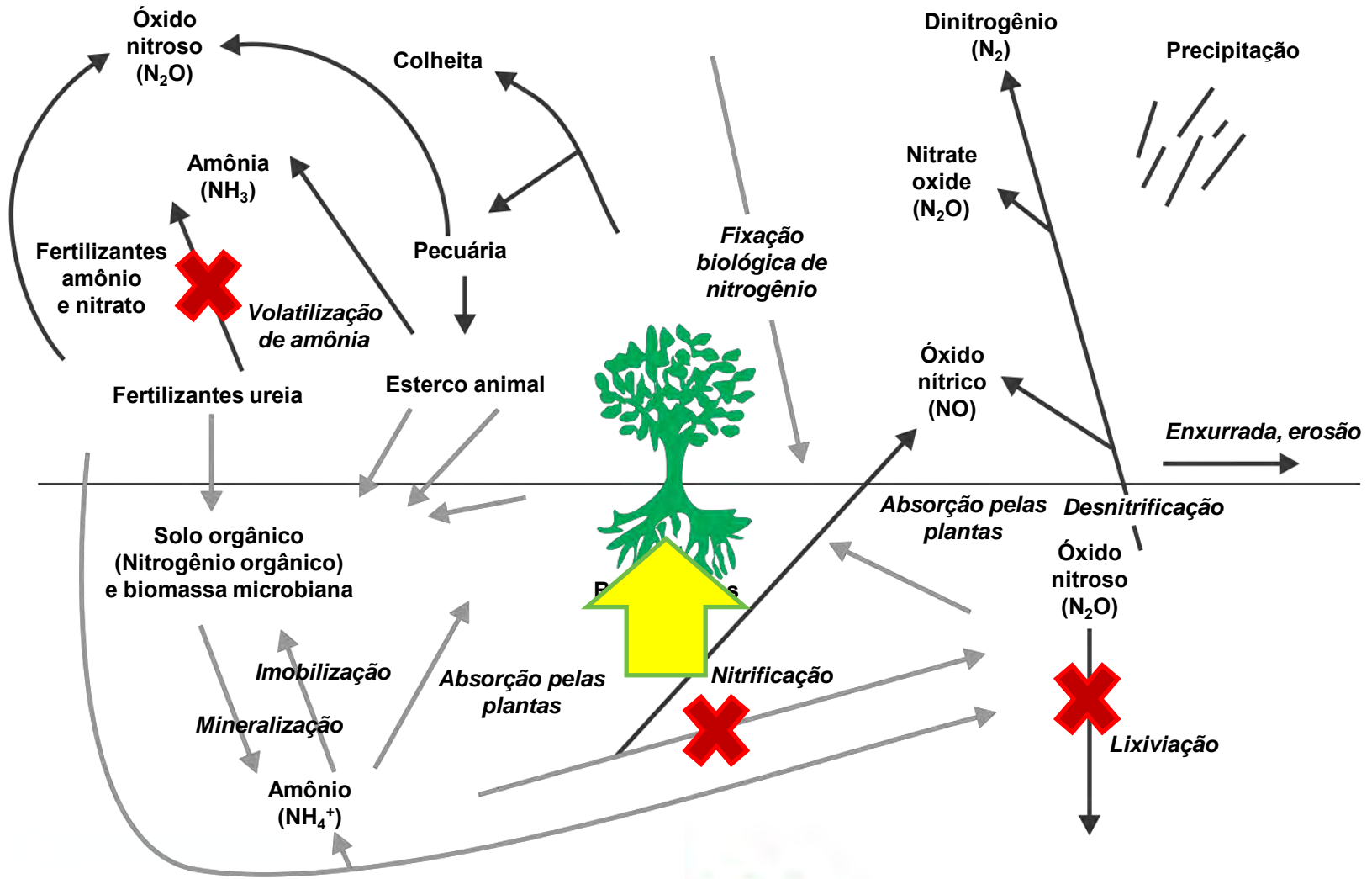
Dados fornecidos pela Fundação MT.

# NITROGÊNIO



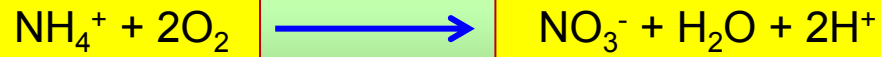
**IPNI** INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

# Ciclo do nitrogênio simplificado



Fonte: Roy et al. (2003).

## Reações



N orgânico

Mineralização/imobilização

$\text{NH}_4^+$

$\text{NO}_3^-$

$\text{NH}_4^+$

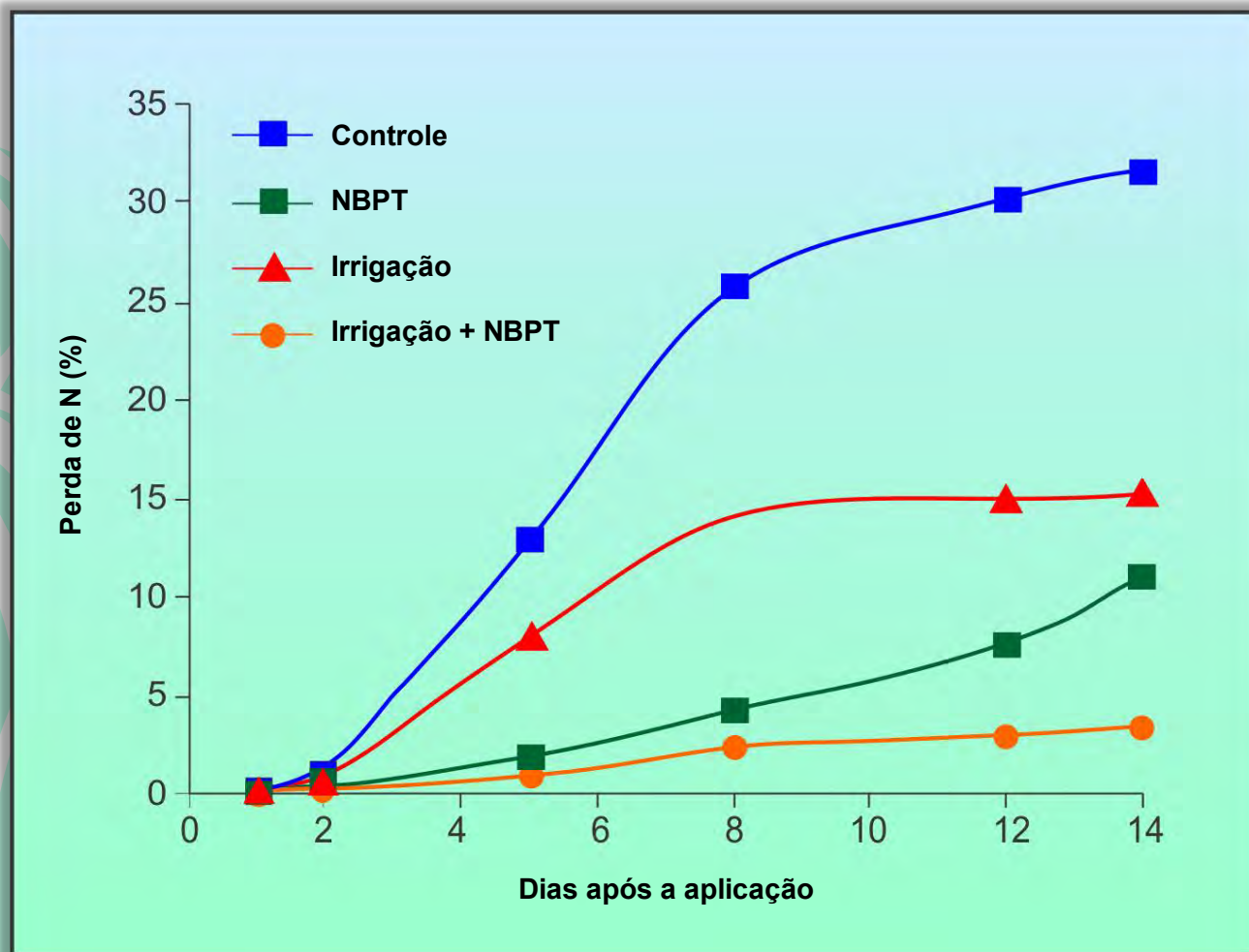
$\text{NH}_3 + \text{H}^+$

$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$

$2\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{CO}_3$



# Efeito do N-(*n*-butyl) triamida tiofosfórico (NBPT) e chuva simulada (2,0 cm no dia 4 e no dia 7) sobre as perdas de volatilização da superfície aplicada ureia



Fonte: Rawluk, Grant e Racz (2000).



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

## Resultados recentes da eficiência de proteção da uréia

Tratamentos	Produtividade de milho (kg/ha)		
<b>Kaneko et al. (2012), 29º CNMS</b>			
	Alta altitude	Baixa altitude	
Sem inoculação	7.717	9.514	
Com inoculação	7.965	9.668	
Ureia	7.867	9.327	
Ureia+polimero	8.163	9.856	
<b>Riquetti et al. (2012) , 29º CNMS</b>			
	Pré-irrigação	Irrigação + 0 dia	Irrigação + 7 dias
Ureia	12.480	10.080	11.520
Ureia + inibidor urease	13.380	11.700	12.900
<b>Duarte et al. (2012) , 29º CNMS</b>			
	Capão Bonito, SP	Palmital, SP	
Sem inoculação	9.674	12.069	
Com inoculação	9.310	12.178	

## Resultados recentes da eficiência de proteção da uréia

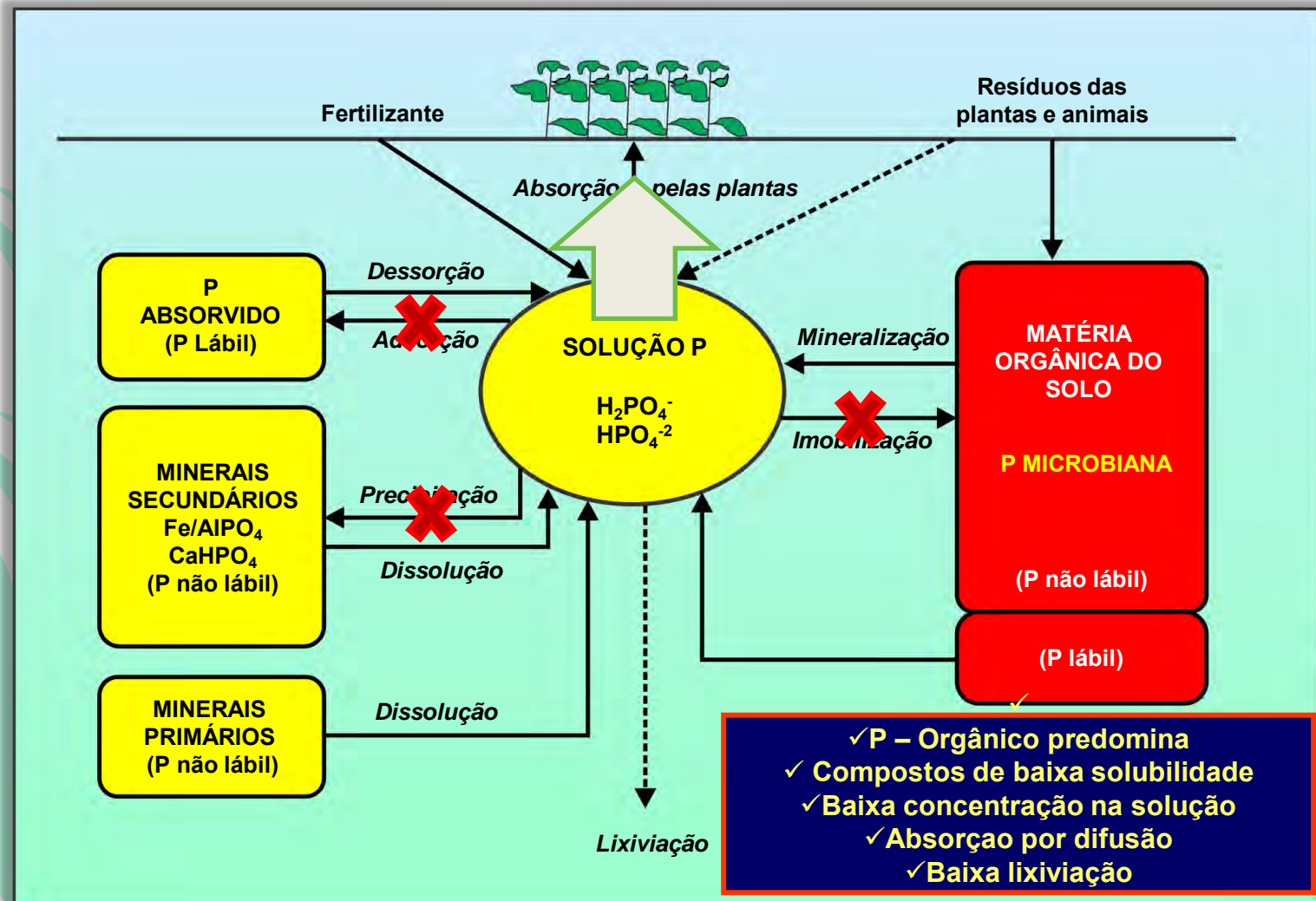
Eficiência agronômica relativa das fontes de nitrogênio para o rendimento de algodão em caroço. Fonte: Zancanaro et al. (2013) – 34º CBCS

Fonte N	Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )			Média
	60	90	120	
%				
Safra 2010/11				
Uréia	100	100	100	100
Uréia + NBPT	101	103	106	103
Uréia + Polímero	103	102	104	103
Uréia + S	105	104	106	105
Uréia + C e B	104	102	105	104
Safra 2011/12				
Uréia	100	100	100	100
Uréia + NBPT	96	97	116	103
Uréia + Polímero	100	97	110	102
Uréia + S	95	99	110	101
Uréia + C e B	98	88	111	99



# FÓSFORO

# Representação esquemática do ciclo de fósforo no solo



**Fósforo absorvido por milho cultivado por 18 dias em vasos contendo 5,5 L de Argissolo Vermelho distrófico de textura média, semeados um dia (1º cultivo) e 101 dias (2º cultivo) após a aplicação de 240 mg vaso<sup>-1</sup> de fósforo na forma de superfosfato triplo em pó e em grânulos, antes do 1º cultivo, com solo revolvido e não revolvido após o 1º cultivo**

Granulometria do superfosfato triplo	Fósforo absorvido (mg vaso <sup>-1</sup> )		
	Cultivo		
	1º	2º	
	Incorporado	Revolvimento do solo	
Com		Sem	
Pó	5,67 b	2,74 a	2,49 b
Grânulos de 2 a 2,38 mm	12,08 a	2,91 a	5,11 a

(1) O tratamento sem fósforo (testemunha) apresentou os seguintes valores para fósforo absorvido: 1º cultivo = 1,42 mg vaso<sup>-1</sup>; 2º cultivo = 1,46 mg vaso<sup>-1</sup>



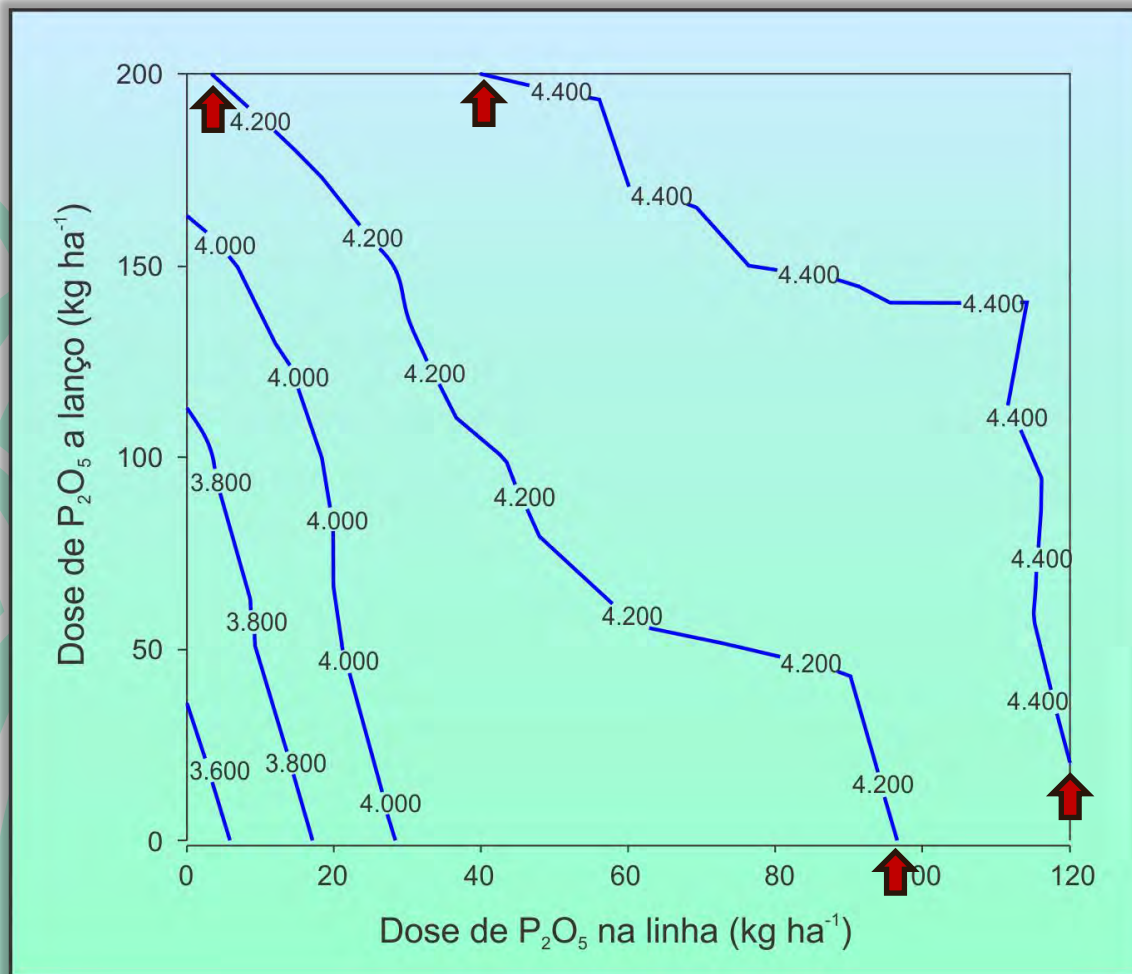
## Incremento líquido na produtividade de milho em função de diferentes doses e modos de aplicação da adubação fosfatada

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Modo de aplicação			
	Laço	Sulco simples	Sulco duplo	Média
	(t ha <sup>-1</sup> )			
45,0	0,73 <sup>(1)</sup>	1,05	0,81	0,86
67,5	0,80	1,92	2,14	1,62
90,0	0,84	2,66	3,42	2,31
112,5	0,88	3,36	4,23	2,82
135,0	1,17	3,64	5,00	3,27
Média	0,88 c <sup>2</sup>	2,53 b	3,11 a	

<sup>(1)</sup> Obtido pela diferença entre a produtividade total do tratamento em estudo (t ha<sup>-1</sup>) e o custo total de produção, exceto o custo do fósforo, calculado em t ha<sup>-1</sup>.

<sup>(2)</sup> Valores com letras iguais na linha não se diferenciam pelo teste de Tukey (P < 0,05).

# Isolinhas de produtividade de algodão obtidas em experimento em Mato Grosso, em solo com $710 \text{ g kg}^{-1}$ de argila e $10 \text{ mg dm}^{-3}$ de fósforo extraído por mehlich<sup>-1</sup>



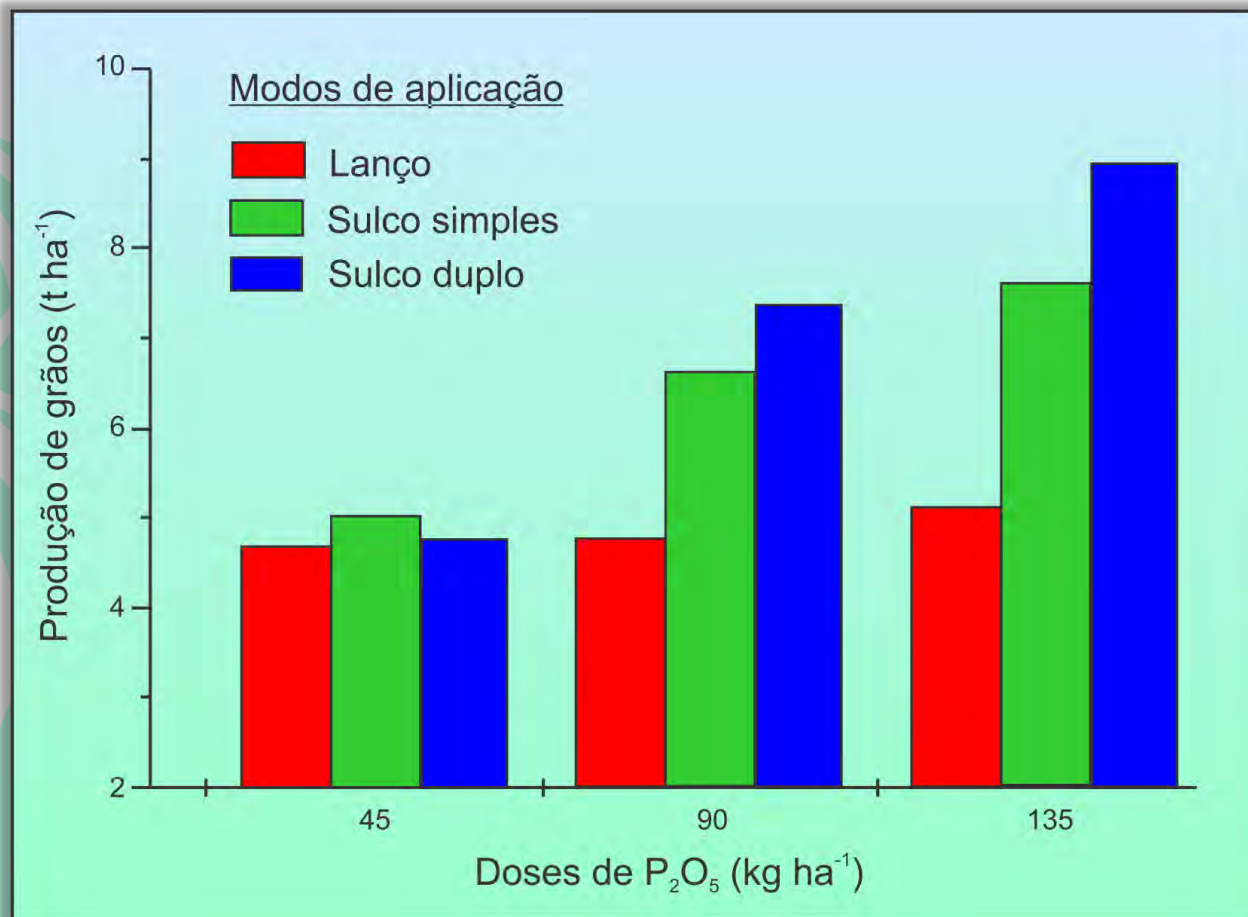
Fonte: Adaptado de dados de Fundação MT (2001).



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE



## Efeito dos modos de aplicação do fertilizante fosfatado na produção de grãos de milho, em Uberaba-MG

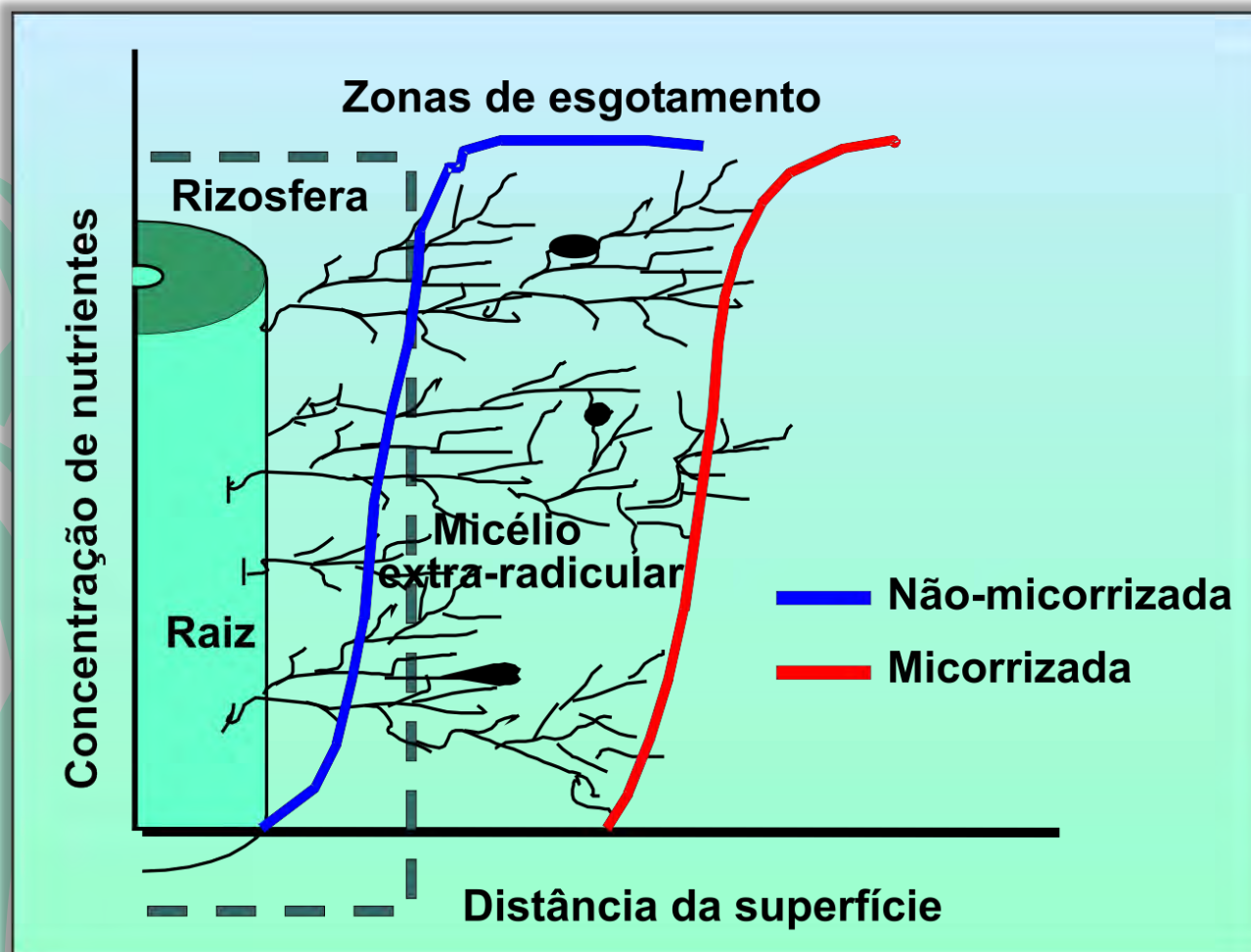


Fonte: Modificada de Prado et al. (2001).



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

# Segmento de raiz micorrizada mostrando zonas de esgotamento de P e aumento da exploração do solo pelo micélio externo



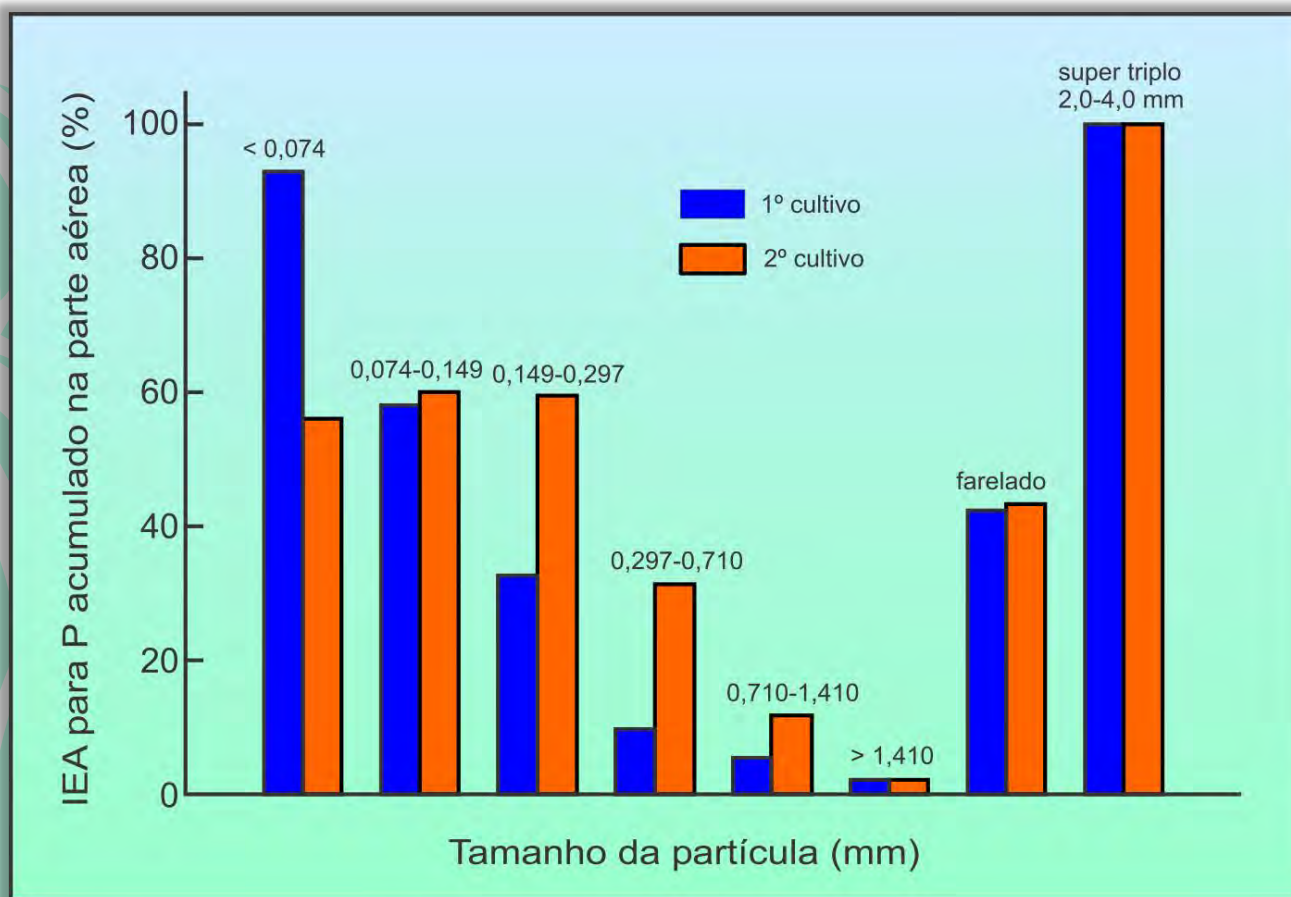
**Rendimento de grãos de sorgo, teor de fósforo no solo e número de propágulos de fungos micorrízicos após dois anos de cultivo da área com algumas culturas, em um latossolo argiloso, com a mesma adubação fosfatada**

Cultura plantada por dois anos	Rendimento de grãos de sorgo (kg ha <sup>-1</sup> )	P extraível no cultivo (mg dm <sup>-3</sup> )		Propágulos de fungos vesículo-arbusculares <sup>1</sup> (nº 10 g <sup>-1</sup> solo)
		Antes	Depois	
Soja	3.077	2,0	1,6	126,0
Soja + FMVA <sup>2</sup>	3.472	3,2	1,7	126,0
Mucuna	4.772	2,2	1,6	98,9
Arroz	1.789	1,9	1,8	59,3
Repolho	1.183	1,9	1,5	11,0
Sem plantio	2.400	2,8	1,7	17,0
	<b>dms (5%)</b>	<b>981</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>

(1) Avaliados 11 semanas depois da germinação do sorgo.

(2) Soja inoculada com fungos micorrízicos vesículo-arbusculares exóticos.

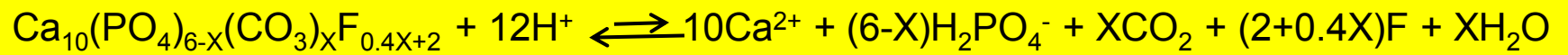
**Índice de Eficiência Agronômica (IEA) para fósforo acumulado na parte aérea de plântulas de milho, aos 21 dias de idade, em dois cultivos em casa de vegetação, em função do tamanho da partícula do fosfato natural de Gafsa**



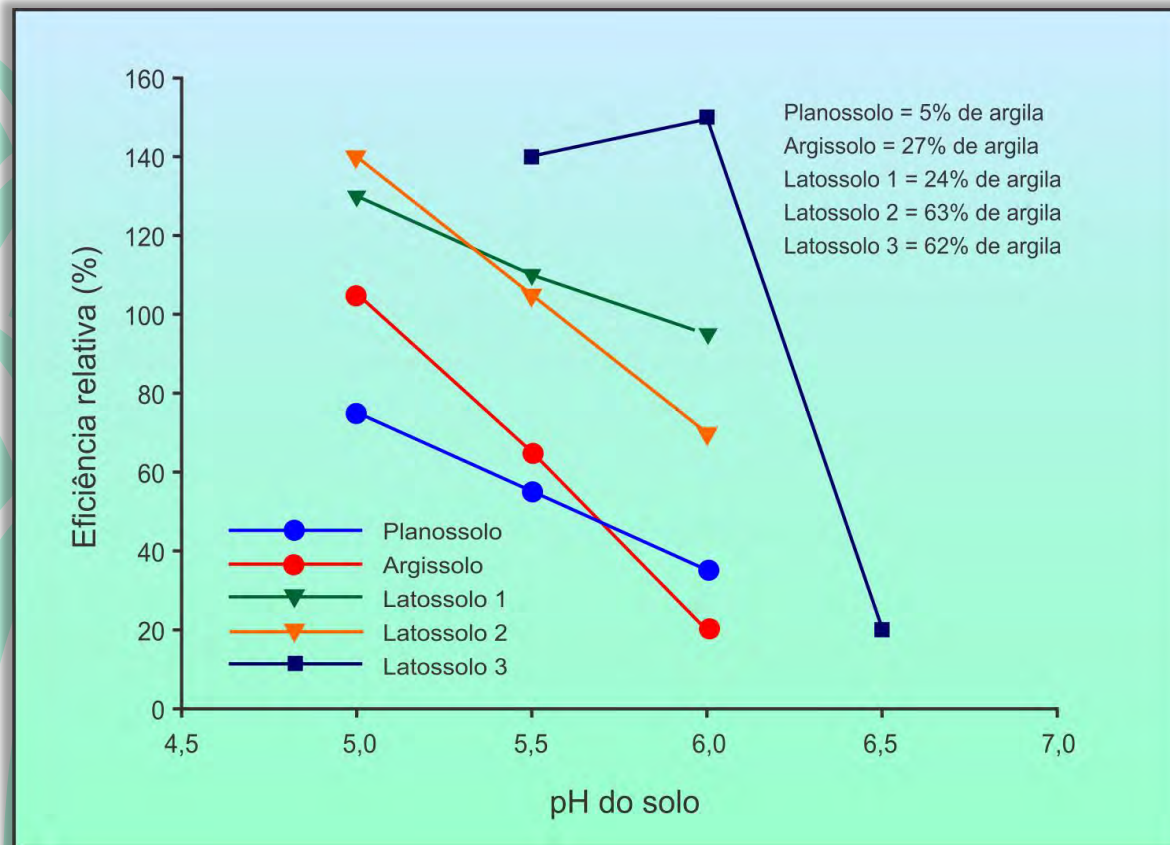
Fonte: Horowitz e Meurer (2003).



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE



## Eficiência relativa do fosfato natural de Gafsa em cinco solos do Rio Grande do Sul em função do pH



# Adubação fosfatada a lanço

Fatos importantes:

- ✓ Gigantesca pressão para semear 27,5 milhões de hectares em 30 dias agronômicos úteis;
- ✓ Estimativa de 34.375 semeadoras (20 linhas x 0,5 m) para executar essa tarefa;
- ✓ Fósforo (P) não é móvel, principalmente em solos tropicais mineralogia oxídica e alta fixação;
- ✓ Exemplos de resultados positivos se devem ao histórico de adubação (P já disponível no solo) e ao sistema de manejo do solo adotado;

# Adubação fosfatada a lanço

Fonte: Fundação MT/PMA – Encontro Técnico 2013

## Adubação no sulco x superfície: Soja



Latossolo Vermelho distrófico  
(65% de argila)  
Teor inicial: 2,7 mg/dm<sup>3</sup> de P

### a) Formas de correção do perfil do solo:

- 1- Sem correção de P + 200 kg/ha de gesso;
- 2- 200 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em superfície + 200 kg/ha de gesso;
- 3- 200 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em superfície + 3.250 kg/ha de gesso;
- 4- 200 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a 20 cm + 200 kg/ha de gesso;
- 5- 200 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a 20 cm + 3.250 kg/ha de gesso;
- 6- 200 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a 40 cm + 200 kg/ha de gesso;
- 7- 600 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a 40 cm + 200 kg/ha de gesso.



### b) Modo de aplicação de P:

Testemunha (sem P), no sulco e em superfície

### c) Dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicada:

0, 50 e 100 kg/ha



# Adubação fosfatada a lanço

Fonte: Fundação MT/PMA – Encontro Técnico 2013

Sem correção de P + 200 kg/ha de gesso



Testemunha



50 kg/ha  $P_2O_5$  no sulco



50 kg/ha  $P_2O_5$  em superfície

**Safra 2012/13**



100 kg/ha  $P_2O_5$  no sulco



100 kg/ha  $P_2O_5$  em superfície



# Adubação fosfatada a lanço

Fonte: Fundação MT/PMA – Encontro Técnico 2013

Tratamento	Modo de correção do solo						
	1	2	3	4	5	6	7
----- Produtividade de soja (safra 2010/11) -----							
Testemunha	33 c	57 a	62 a	64 a	66 a	65 a	64 a
50 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> sulco	48 ab	65 a	64 a	65 a	64 a	67 a	66 a
50 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> superfície	42 b	61 a	61 a	64 a	67 a	64 a	65 a
100 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> sulco	55 a	67 a	67 a	67 a	64 a	68 a	68 a
100 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> superfície	49 ab	65 a	64 a	67 a	65 a	66 a	68 a
----- Produtividade de soja (safra 2011/12) -----							
Testemunha	21 b	54 a	58 a	47 b	53 a	49 b	59 a
50 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> sulco	38 ab	56 a	68 a	51 ab	59 a	52 ab	59 a
50 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> superfície	36 ab	55 a	65 a	53 ab	63 a	57 a	58 a
100 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> sulco	45 a	57 a	61 a	51 ab	62 a	55 ab	55 a
100 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> superfície	49 a	58 a	63 a	59 a	64 a	57 a	59 a
----- Produtividade de soja (safra 2012/13) -----							
Testemunha	11 c	53 a	48 a	39 b	48 b	38 b	66 a
50 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> sulco	35 b	57 a	58 a	56 a	58 ab	56 a	64 a
50 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> superfície	37 b	52 a	59 a	61 a	56 ab	59 a	63 a
100 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> sulco	55 a	62 a	64 a	60 a	62 a	63 a	65 a
100 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> superfície	58 a	62 a	67 a	61 a	68 a	65 a	64 a
----- Produtividade de soja (média das três safras) -----							
Testemunha	22 c	55 a	56 a	50 b	56 c	51 b	63 a
50 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> sulco	40 ab	59 a	63 a	58 ab	60 b	58 a	63 a
50 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> superfície	38 b	56 a	62 a	59 a	62 ab	60 a	62 a
100 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> sulco	52 a	62 a	64 a	59 a	63 ab	62 a	63 a
100 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> superfície	52 a	62 a	65 a	62 a	66 a	63 a	64 a

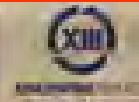
1- Sem correção de P + 200 kg/ha de gesso;  
 2- 200 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em superfície + 200 kg/ha de gesso;  
 3- 200 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em superfície + 3.250 kg/ha de gesso;

4- 200 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a 20 cm + 200 kg/ha de gesso;  
 5- 200 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a 20 cm + 3.250 kg/ha de gesso;  
 6- 200 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a 40 cm + 200 kg/ha de gesso;  
 7- 600 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a 40 cm + 200 kg/ha de gesso.

# Adubação fosfatada a lanço

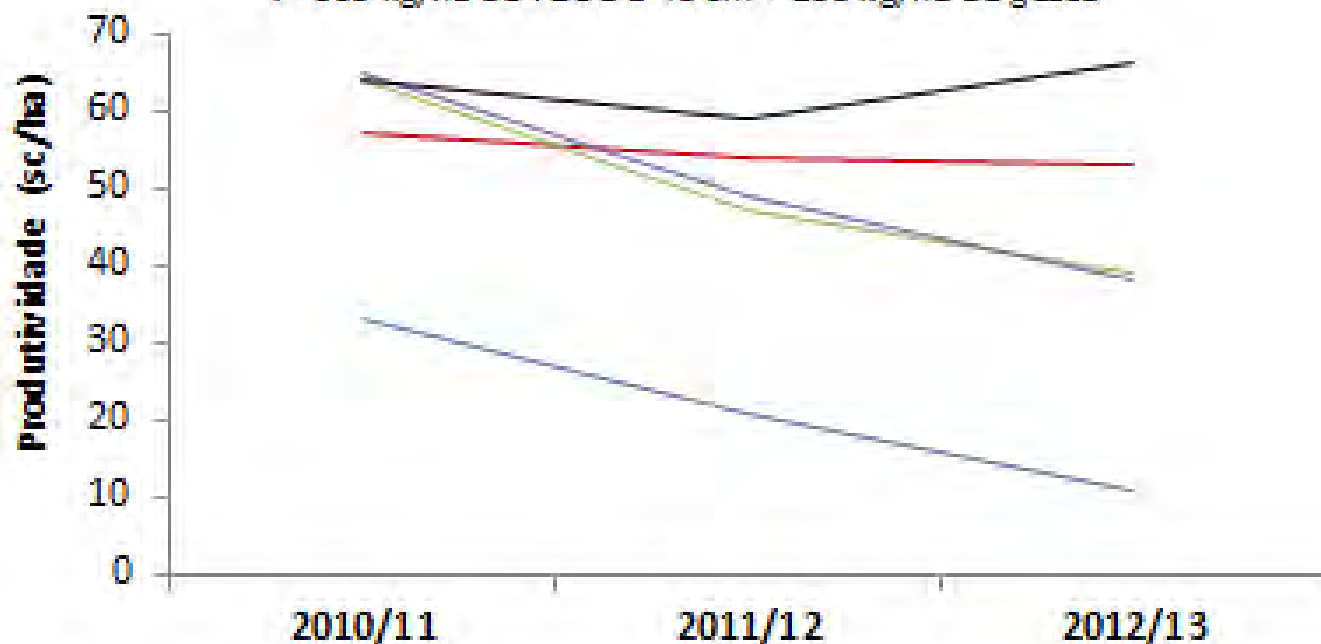
Fonte: Fundação MT/PMA – Encontro Técnico 2013

Correção de P: safras 2010/11, 2011/12 e 2012/13



## Testemunha

- 1- Sem correção de P + 200 kg/ha de gesso
- 2- 200 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em superfície + 200 kg/ha de gesso
- 4- 200 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a 20 cm + 200 kg/ha de gesso
- 6- 200 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a 40 cm + 200 kg/ha de gesso
- 7- 600 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a 40 cm + 200 kg/ha de gesso



Fonte: Fundação MT/PMA (2012/13)

# Adubação fosfatada a lanço

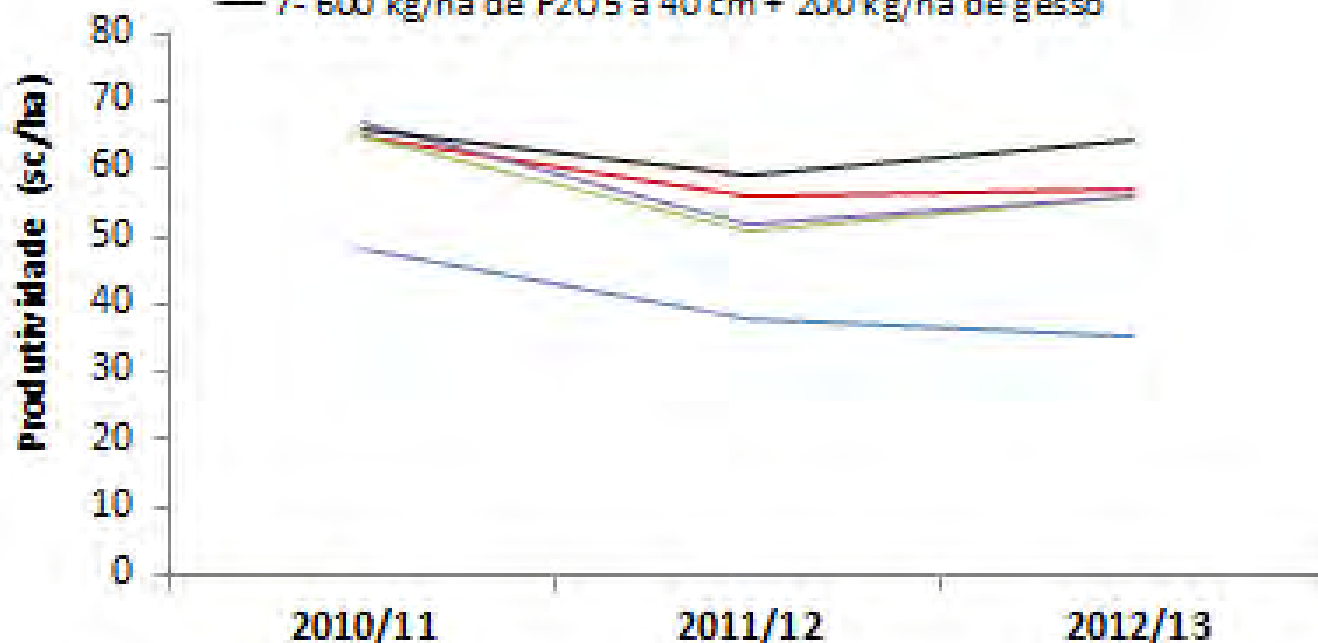
Fonte: Fundação MT/PMA – Encontro Técnico 2013

Correção de P: safras 2010/11, 2011/12 e 2012/13



## 50 kg/ha de $P_2O_5$ no sulco (anual)

- 1- Sem correção de P + 200 kg/ha de gesso
- 2- 200 kg/ha de  $P_2O_5$  em superfície + 200 kg/ha de gesso
- 4- 200 kg/ha de  $P_2O_5$  a 20 cm + 200 kg/ha de gesso
- 6- 200 kg/ha de  $P_2O_5$  a 40 cm + 200 kg/ha de gesso
- 7- 600 kg/ha de  $P_2O_5$  a 40 cm + 200 kg/ha de gesso



Fonte: Fundação MT/PMA (2012/13)

# Adubação fosfatada a lanço

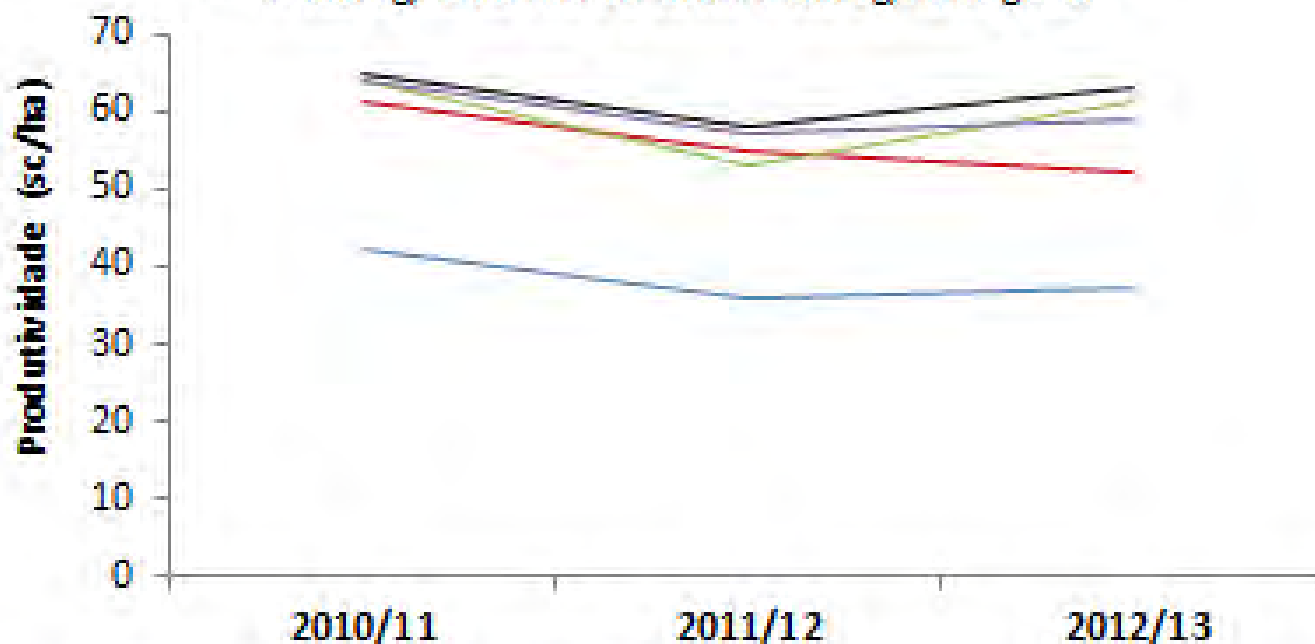
Fonte: Fundação MT/PMA – Encontro Técnico 2013

Correção de P: safras 2010/11, 2011/12 e 2012/13



## 50 kg/ha de $P_2O_5$ em superfície (anual)

- 1- Sem correção de P + 200 kg/ha de gesso
- 2- 200 kg/ha de  $P_2O_5$  em superfície + 200 kg/ha de gesso
- 4- 200 kg/ha de  $P_2O_5$  a 20 cm + 200 kg/ha de gesso
- 6- 200 kg/ha de  $P_2O_5$  a 40 cm + 200 kg/ha de gesso
- 7- 600 kg/ha de  $P_2O_5$  a 40 cm + 200 kg/ha de gesso



Fonte: Fundação MT/PMA (2012/13)

# Adubação fosfatada a lanço

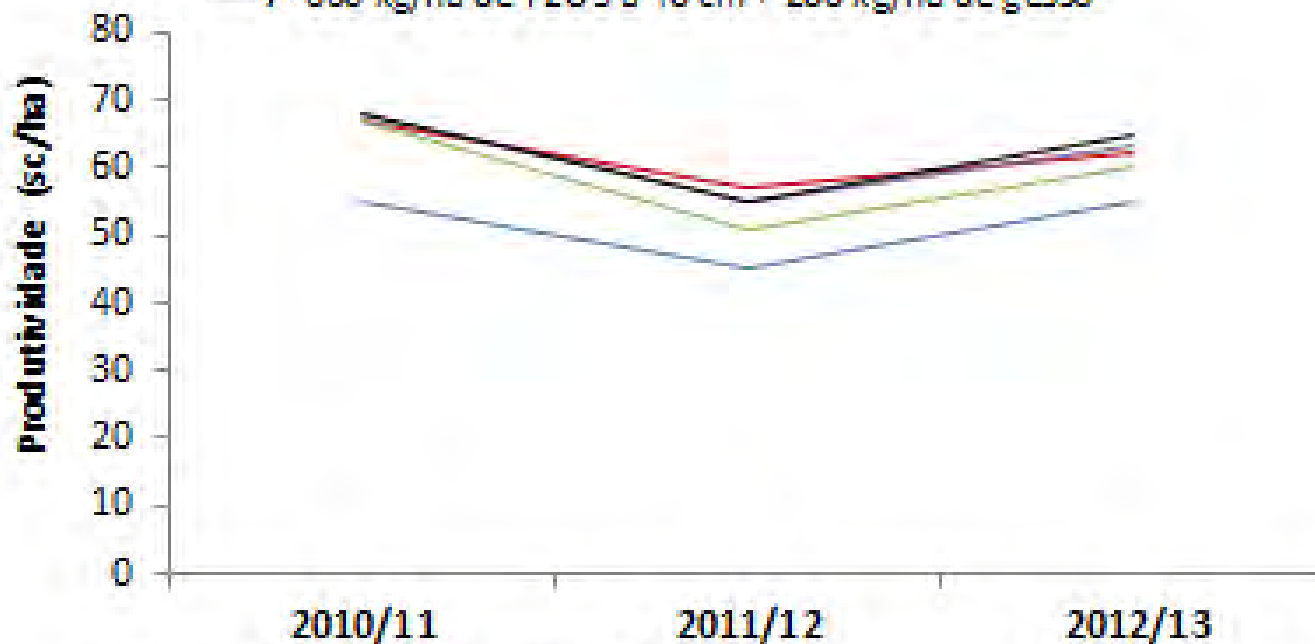
Fonte: Fundação MT/PMA – Encontro Técnico 2013

Correção de P: safras 2010/11, 2011/12 e 2012/13



## 100 kg/ha de $P_2O_5$ no sulco (anual)

- 1- Sem correção de P + 200 kg/ha de gesso
- 2- 200 kg/ha de  $P_2O_5$  em superfície + 200 kg/ha de gesso
- 4- 200 kg/ha de  $P_2O_5$  a 20 cm + 200 kg/ha de gesso
- 6- 200 kg/ha de  $P_2O_5$  a 40 cm + 200 kg/ha de gesso
- 7- 600 kg/ha de  $P_2O_5$  a 40 cm + 200 kg/ha de gesso



Fonte: Fundação MT/PMA (2012/13)

# Adubação fosfatada a lanço

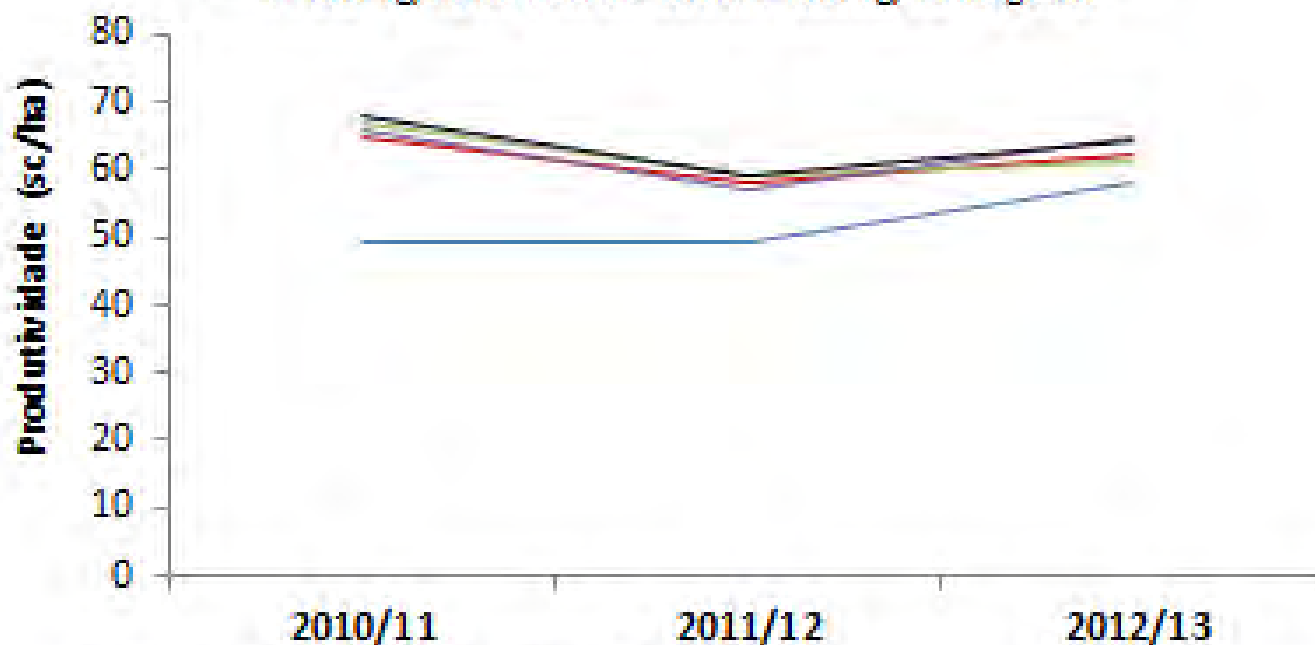
Fonte: Fundação MT/PMA – Encontro Técnico 2013

Correção de P: safras 2010/11, 2011/12 e 2012/13



## 100 kg/ha de $P_2O_5$ em superfície (anual)

- 1- Sem correção de P + 200 kg/ha de gesso
- 2- 200 kg/ha de  $P_2O_5$  em superfície + 200 kg/ha de gesso
- 4- 200 kg/ha de  $P_2O_5$  a 20 cm + 200 kg/ha de gesso
- 6- 200 kg/ha de  $P_2O_5$  a 40 cm + 200 kg/ha de gesso
- 7- 600 kg/ha de  $P_2O_5$  a 40 cm + 200 kg/ha de gesso



Fonte: Fundação MT/PMA (2012/13)

# Adubação fosfatada a lanço

Fonte: Fundação MT/PMA – Encontro Técnico 2013

Dinâmica do fósforo em Sistemas de Produção com aporte elevado de carbono ao longo do tempo



No SPD, as razões para a eficiência da aplicação superficial de P são atribuídas ao maior teor de água (necessário para a difusão de P) na camada superficial do solo e também porque, havendo maior teor de matéria orgânica nessa camada, haverá menor atividade de  $Al^{3+}$ , além do P ligado ao Al nessa matéria orgânica ser mais solúvel que o P ligado à argila (Thomas, 1986).

Tabela 18. Percentagem de  $^{32}P$  absorvido por milho em função do método de aplicação de P. Fonte: Singh et al. (1966).

Dias após a semeadura	% de P como $^{32}P$		% de P na planta	
	Plantio direto na superfície	Convencional incorporado	Plantio direto na superfície	Convencional incorporado
30	54	16	0,22	0,15
46	43	32	0,18	0,18
60	25	21	0,16	0,13
67	36	37	0,15	0,15

# Adubação fosfatada a lanço

Fonte: Fundação MT/PMA – Encontro Técnico 2013

## CONSIDERAÇÕES - Para a Cultura Soja

- ✓ Para quem deixou de fazer adubação no sulco de plantio para fazer em superfície, continua fazendo adubação localizada porém, devido ao revolvimento superficial, pratica a adubação localizada: “adubação em camada”;
- ✓ A adubação anual em superfície em solos pobres em P apresenta eficiência menor que a adubação no sulco de plantio.
- ✓ Com o tempo não percebe-se diferença devido a correção gradual do solo;
- ✓ Os fatores que têm maior influência sobre os resultados obtidos com a adubação superficial em solos cultivados a tempo em SPD e determinam a eficiência de aproveitamento do P são:
  - A correção prévia do solo;
  - Sistemas de produção adotado ao longo do tempo;
  - Regularidade de precipitação pluviométrica;



# Adubação fosfatada a lanço

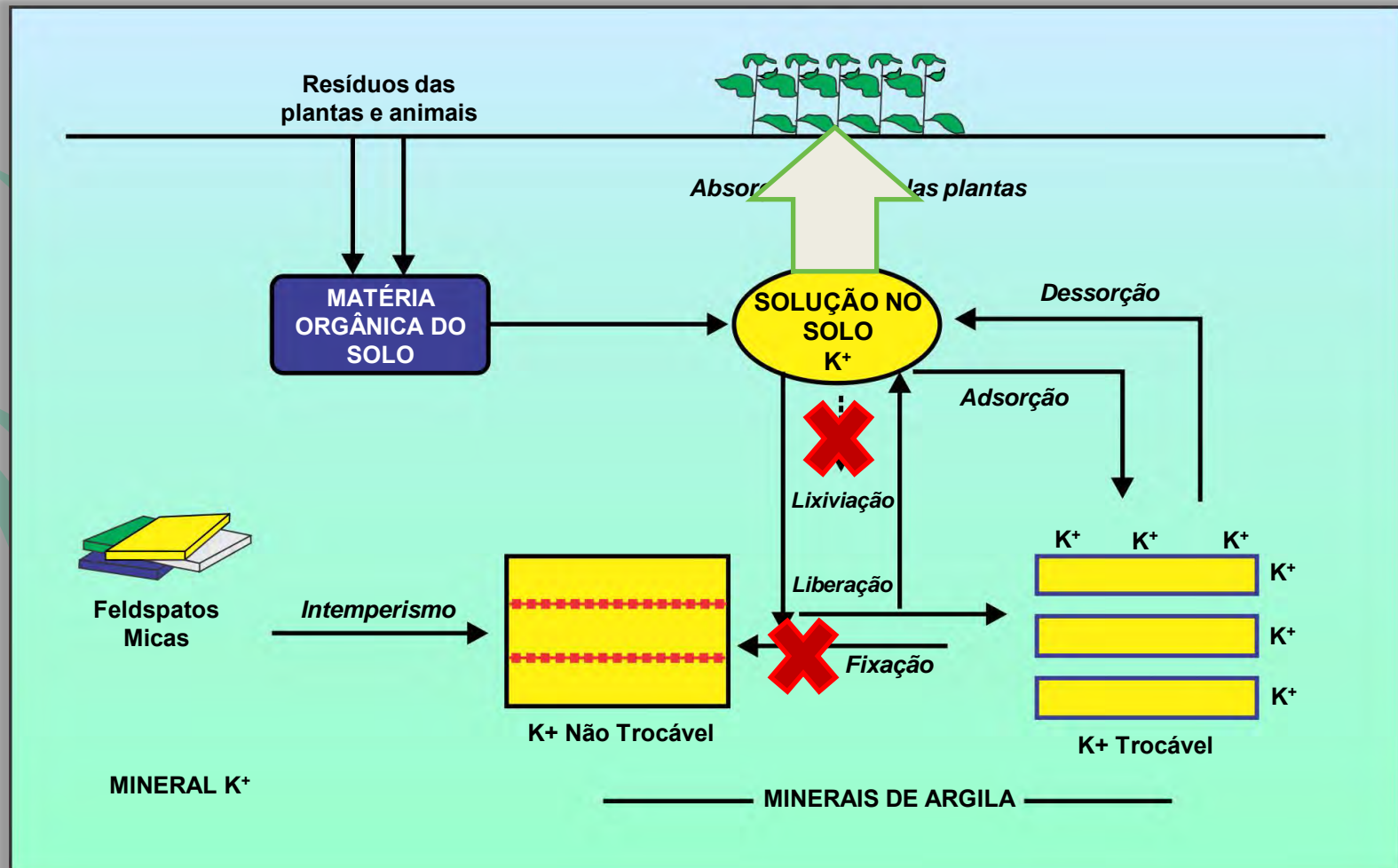
Fonte: Fundação MT/PMA – Encontro Técnico 2013

## CONSIDERAÇÕES - Para a Cultura Soja

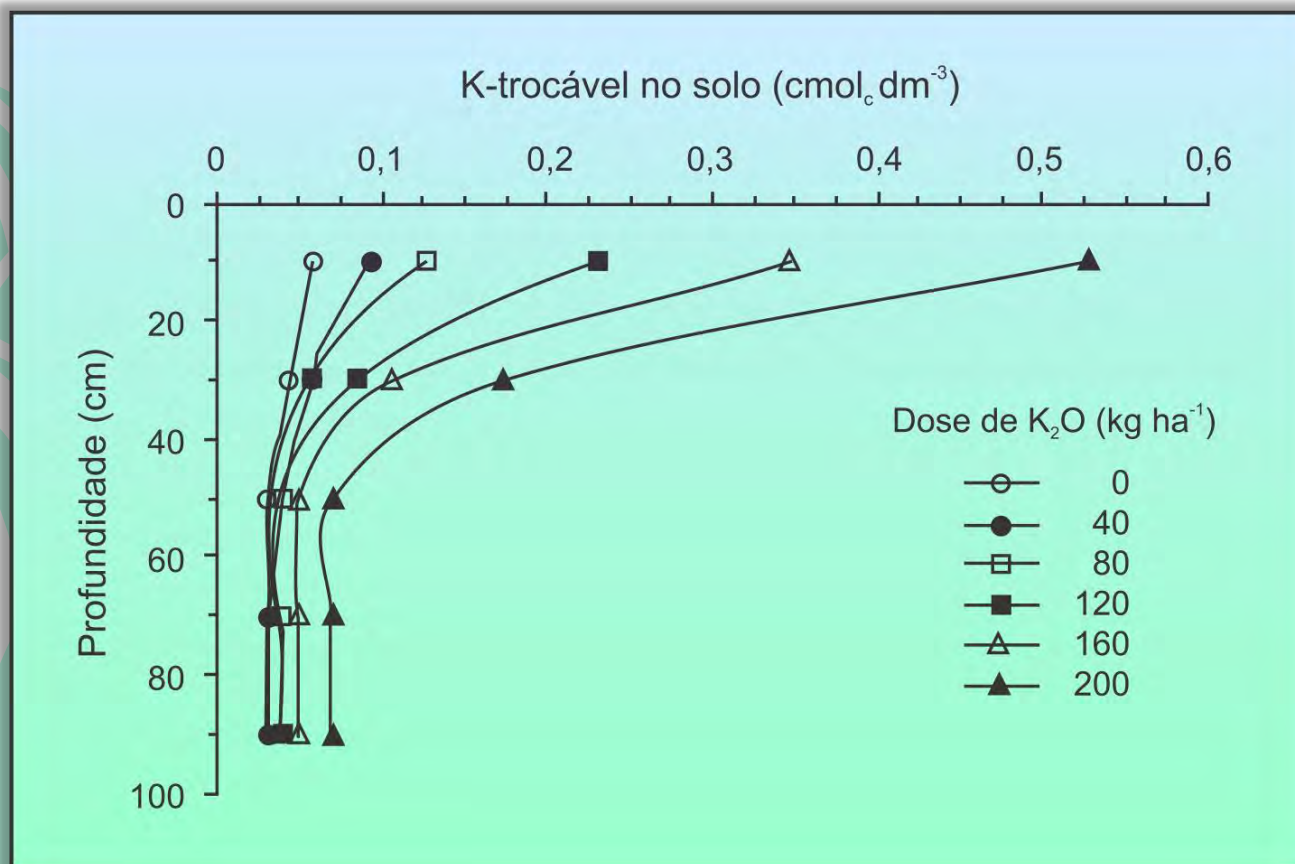
- ✓ **A prática de adubação superficial de P, ao longo do tempo, apresentará dependência elevada das condições pluviométricas durante cada cultivo, sendo que o risco maior vai ser quanto mais superficial for a correção prévia do solo e/ou sistemas com aporte baixo de resíduos vegetais e/ou limitações físicas;**
- ✓ Em condição de pluviometria menos regular a concentração elevada de P no solo, ao longo do tempo, nos primeiros centímetros de profundidade, limitará a produtividade, sendo que a continuidade dependerá do objetivo de cada produtor e dos resultados financeiros;
- ✓ O PMA acredita que, sob o ponto de vista de adubação isoladamente, que:
  - quem partir de solos efetivamente corrigidos quanto a acidez e de P em profundidade,
  - sem limitação mecânica,
  - e praticar sistemas de produção com aporte elevado de resíduo vegetal sobre a superfície do solo,
  - mesmo havendo concentração de P cada vez maior nas camadas superficiais, terá longevidade elevada neste sistema de adubação em superfície;

# POTÁSSIO

# CICLO DO POTÁSSIO EM SOLOS



# Teor de potássio trocável no solo em função de doses de $K_2O$ aplicadas e da profundidade avaliada; médias da safra 2000/01, em Londrina-PR

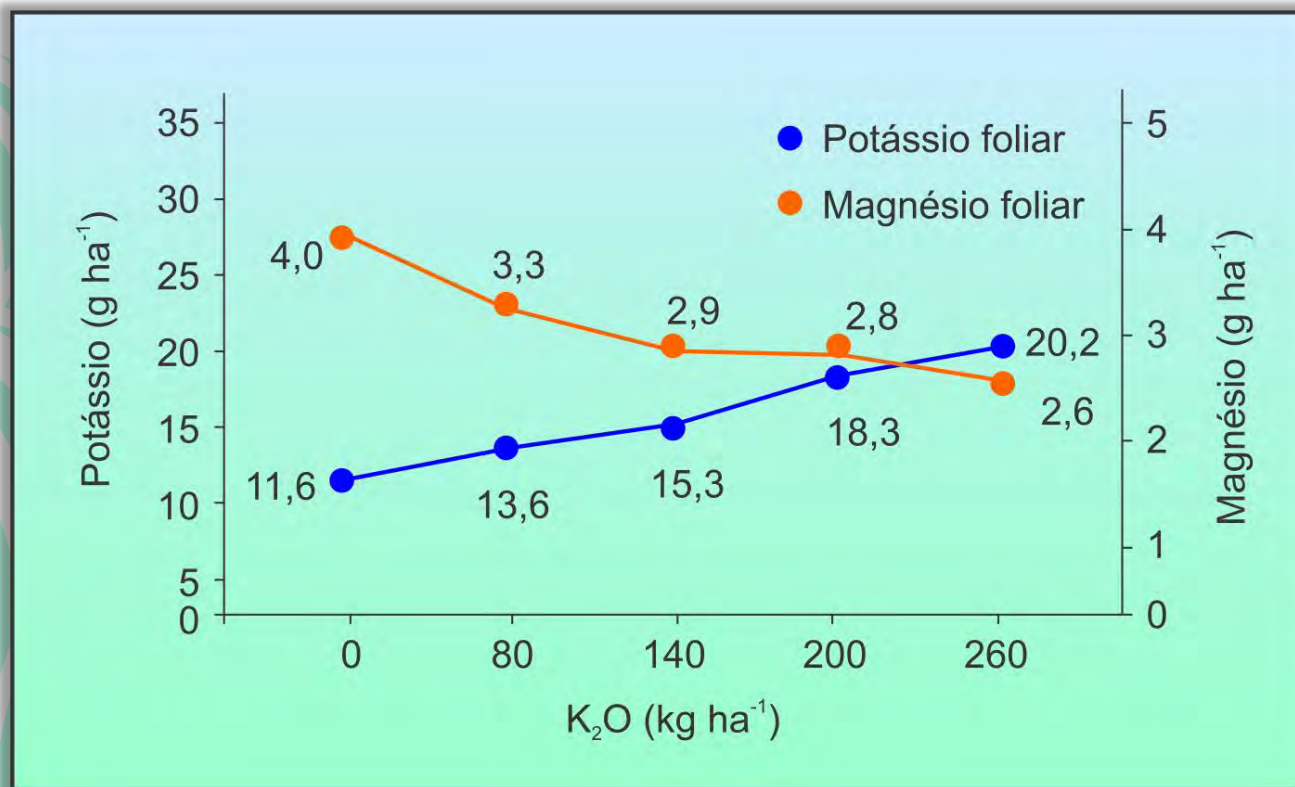


## RESPOSTA DA SOJA À APLICAÇÃO DE CLORETO DE POTÁSSIO EM COBERTURA, EM DIFERENTES ÉPOCAS DE APLICAÇÃO.

AVALIAÇÕES					
TRATAMENTOS	ALTURA DE PLANTA	NÚMERO DE VAGAS	PESO DE 1000 SEMENTES	PRODUTIVIDADE KG/HA	AUMENTO KG/HA
TESTEMUNHA	61,00B*	62,23B	128,40C	2581,40B	0,00
30 DIAS DAP	66,33AB	61,38B	130,00AB	2577,90B	-3,50
20 DIAS DAP	67,33AB	63,52B	131,50AB	2621,30B	39,90
10 DIAS DAP	66,33AB	62,39B	133,9ABC	2578,20B	-3,20
NO PLANTIO EM COBERTURA	68,67AB	64,50B	133,5ABC	2651,70B	70,30
10 DIAS DDP	71,67A	66,48A	136,43A	2746,90A	165,50
20 DIAS DDP	74,00A	72,68A	141,33A	3003,10A	421,70
30 DIAS DDP	72,33A	71,21A	148,00A	2942,30A	360,90
CV (%)	4,21%	3,32%	1,97%	3,03%	

\* MÉDIAS SEGUIDAS DE MESMA LETRA NA COLUNA NÃO DIFEREM PELO TESTE TUKEY A 5%.

## Variação das concentrações de potássio e magnésio na folha do algodoeiro, em função das doses de $K_2O$

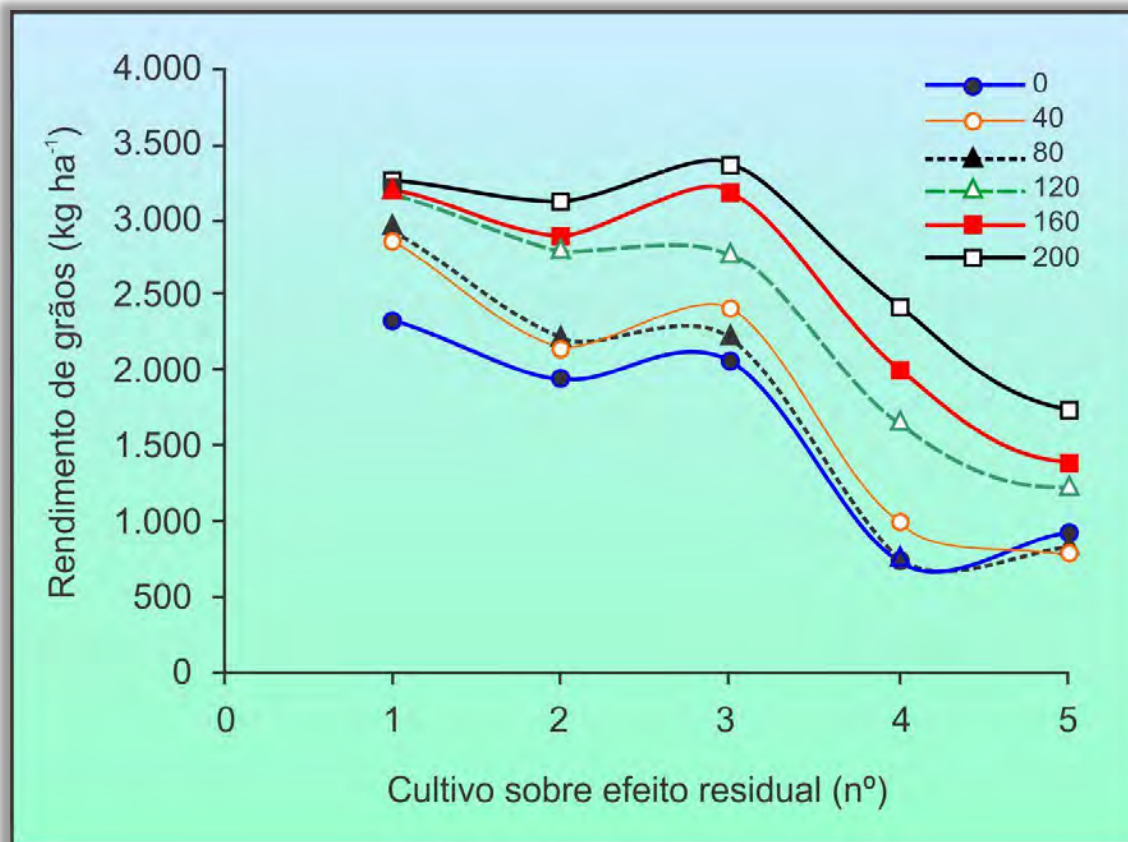


Fonte: Baseado em Carvalho e Bernardi (2004).



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

**Rendimento de grãos de soja de cultivos sob efeito residual de cinco anos de aplicação de doses de  $K_2O$ ; média das safras 1995/96 a 1999/00, com as cultivares BR-16 e BR-13, em Ponta Grossa-PR. Embrapa Soja, Londrina-PR.**



Fonte: Borkert et al., 2004.

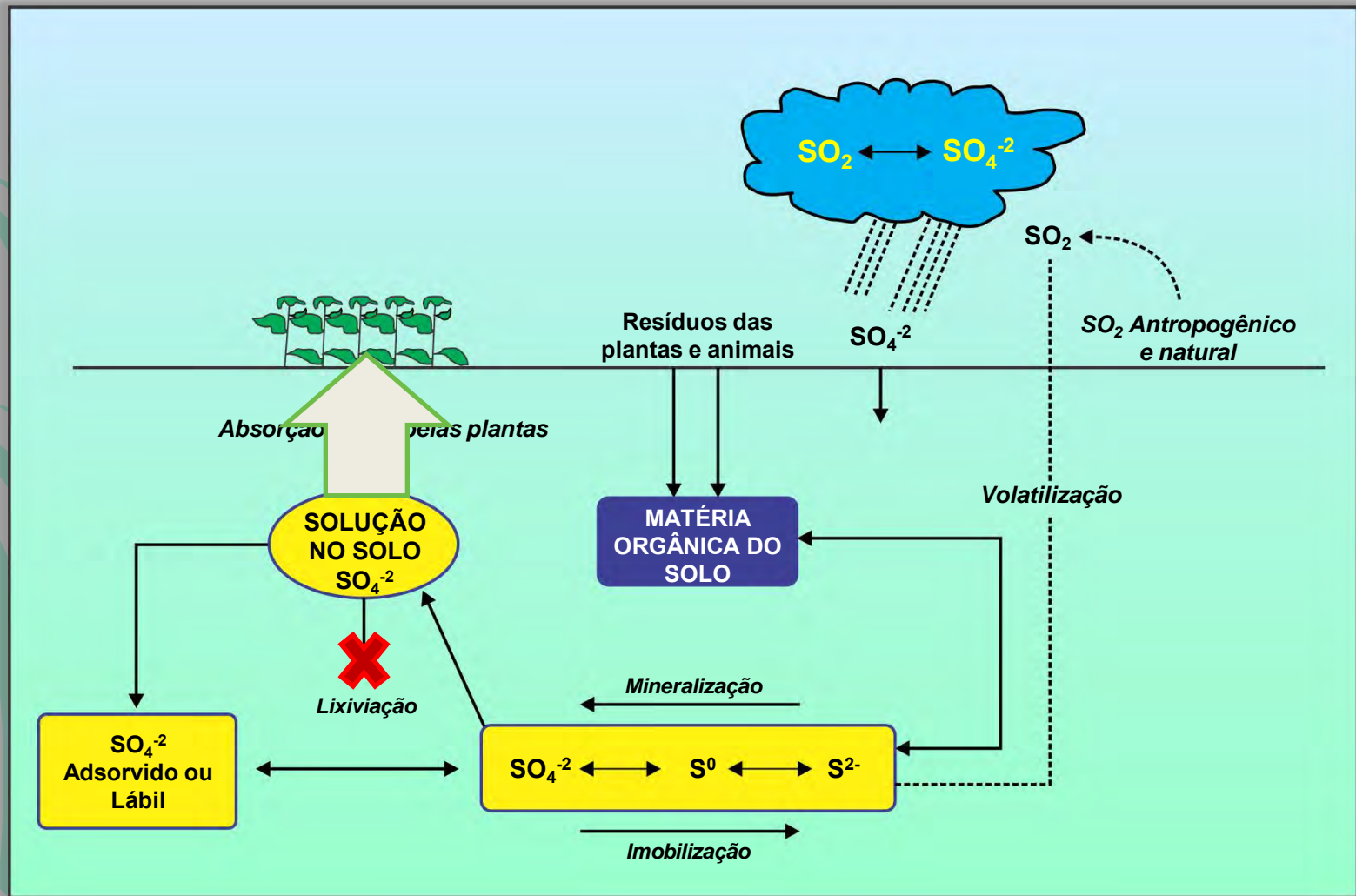


IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

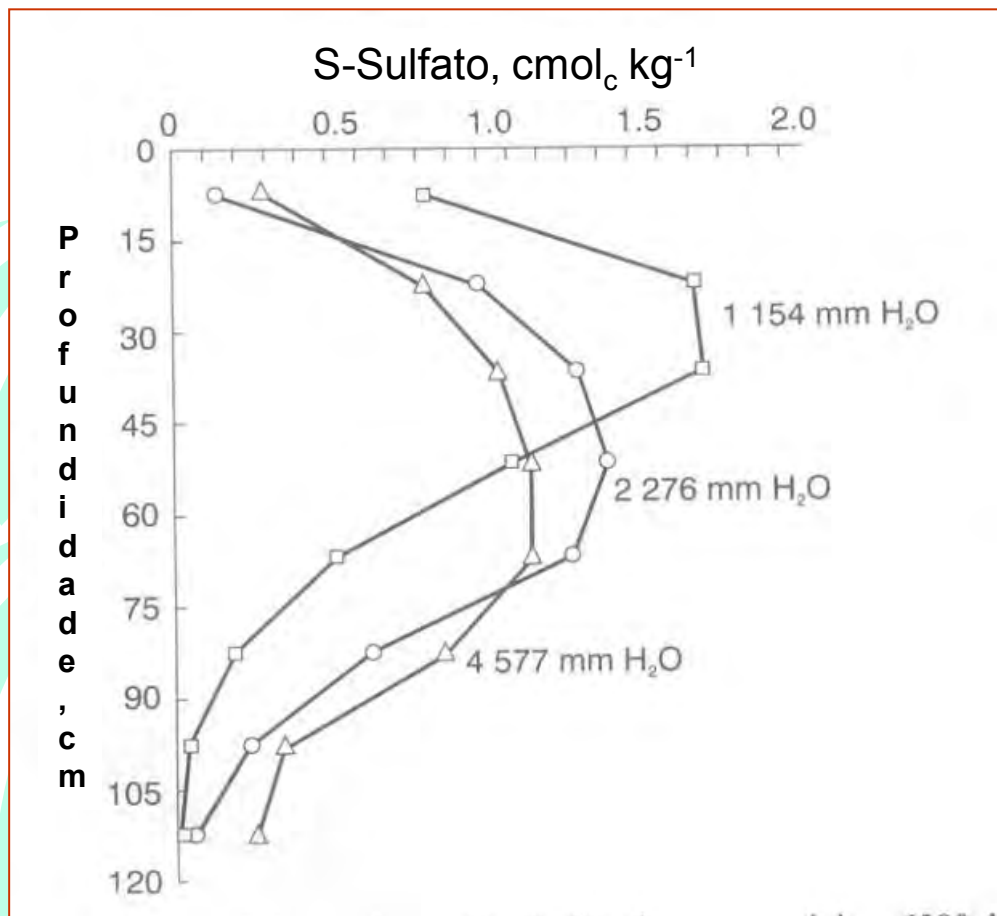
# ENXOFRE



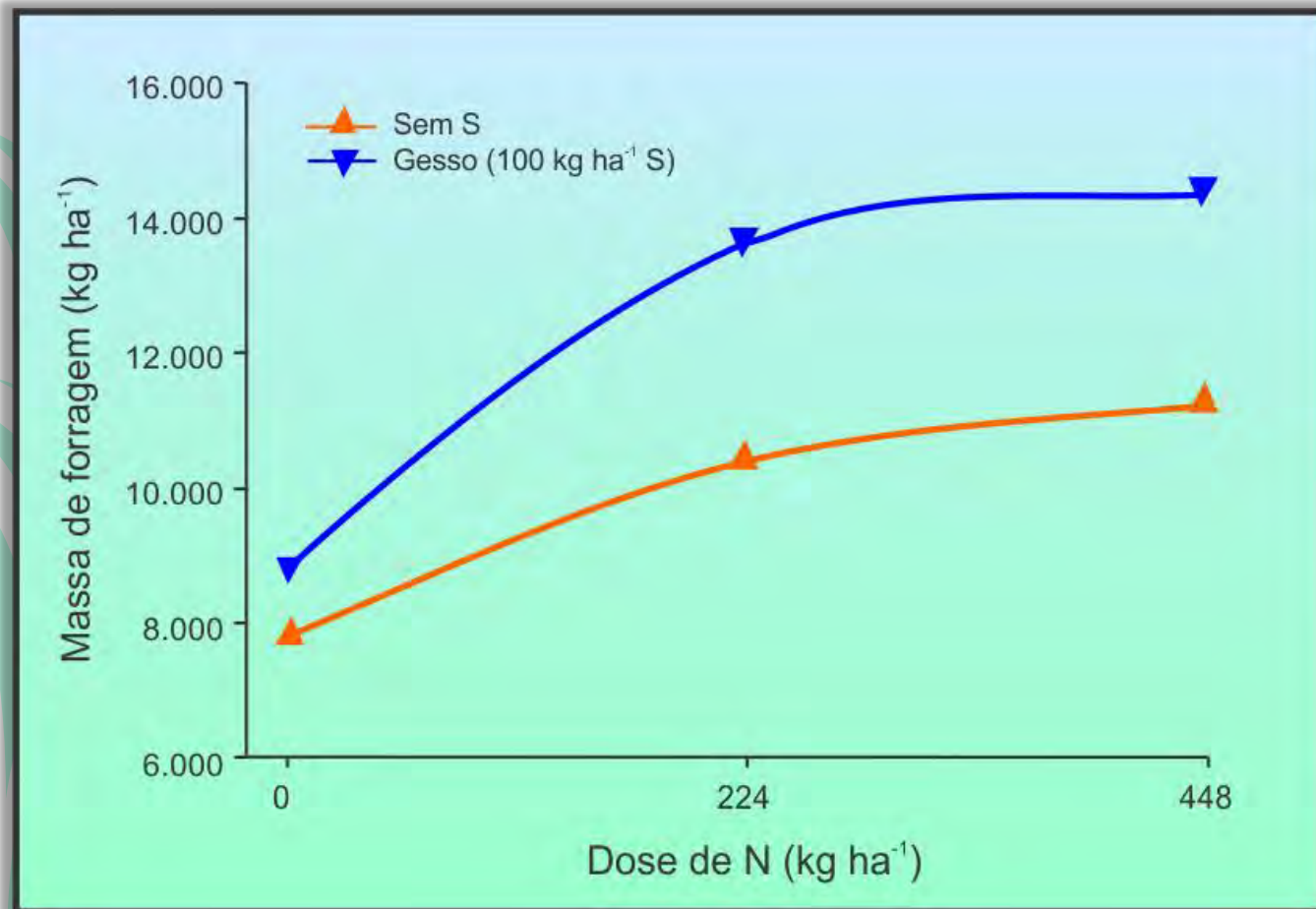
# Versão simplificada do ciclo global do enxofre



## Movimento de enxofre no perfil do solo



## Resposta da grama bermuda ao fertilizante nitrogenado na presença e na ausência de adubação com enxofre



Fonte: Phillips e Sabbe (1994).



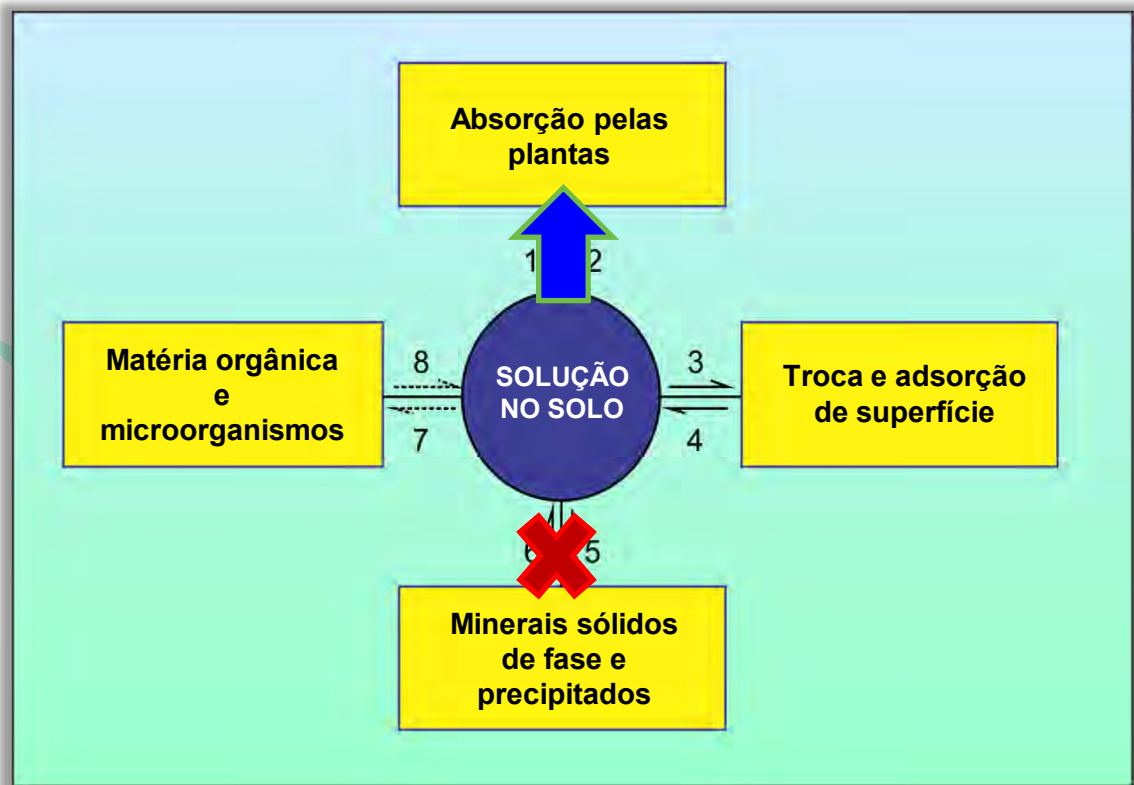
IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

# MICRONUTRIENTES



**IPNI** INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

## Relações entre as diversas formas de micronutrientes em solo



Reações 1 e 2 representam absorção pelas plantas e exsudação, respectivamente;

Reações 3 e 4 representam a adsorção e dessorção, respectivamente;

Reações 5 e 6 representam precipitação e dissolução, respectivamente;

Reações 7 e 8 representam imobilização e mineralização, respectivamente.

Todos estes processos interagem para controlar a concentração de micronutrientes na solução do solo.

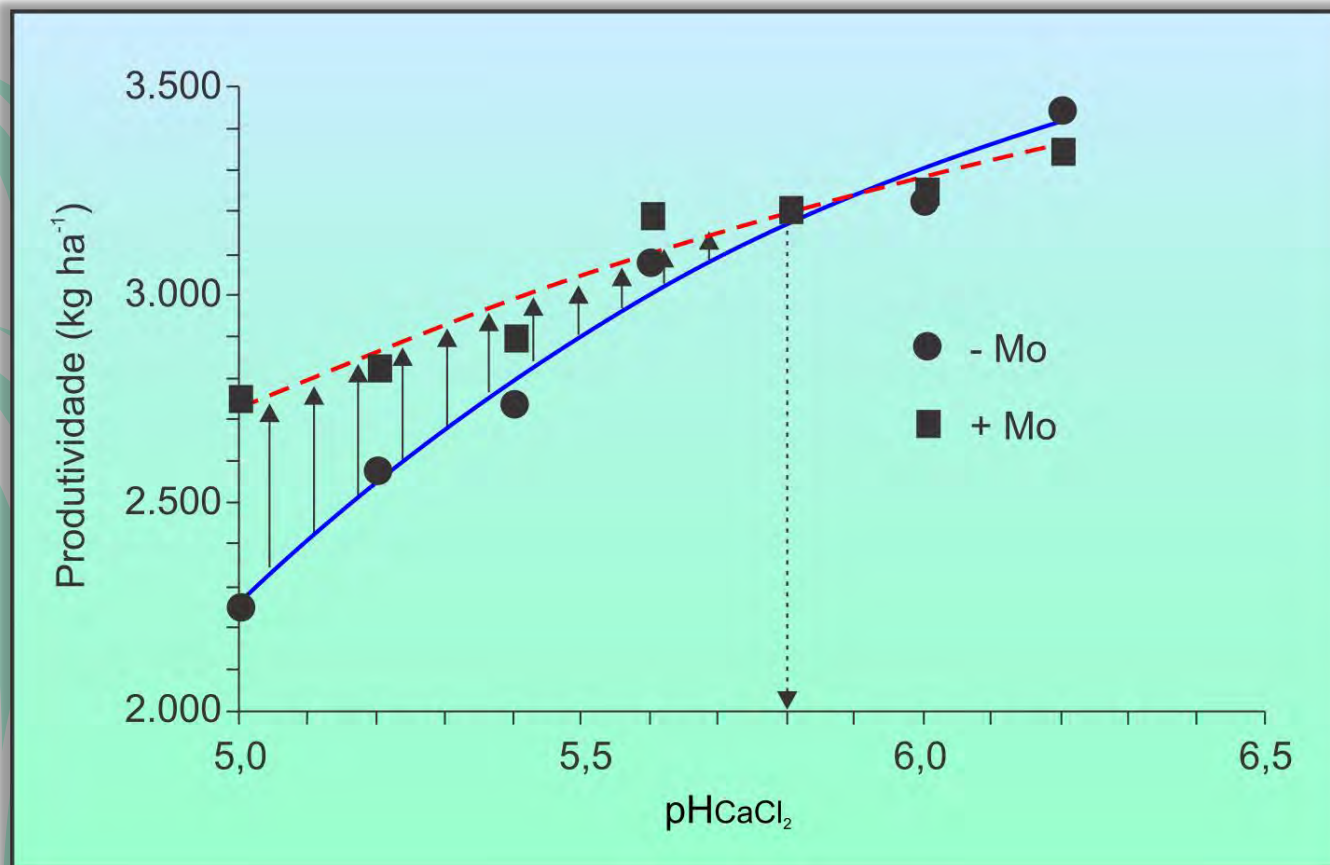


## Formas de micronutrientes nos solos:

- ✓ Solução do solo
  - ✓ Trocável
- ✓ Adsorvido no complexo de troca
- ✓ Precipitados, quelatizado ou complexado
  - ✓ Minerais primários



# Relação entre o pH do solo e a resposta da soja a aplicação de molibdênio, em um Latossolo Vermelho localizado em Campo Mourão, PR.



Fonte: Adaptado de Lantmann et al. (1985).



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

# Fe, Mn X Aeração



Aeração excessiva diminui a disponibilidade de ferro e manganês





**SUCESSO A TODOS, SUCESSO À ATIVIDADE AGRÍCOLA,  
e  
MUITO GRATO PELA ATENÇÃO!**



**Website:**

<http://brasil.ipni.net>  
[efrancisco@ipni.net](mailto:efrancisco@ipni.net)

**Telephone/fax:**

(66) 3023-1517  
(19) 8723-0699

