2012 LASSC
MAR DEL PLATA, ARGENTINA

MANEJO DE FÓSFORO EM SOLOS TROPICAIS

Dr. Luís Ignácio Prochnow
Diretor do IPNI – Programa Brasil

APATITA

RESPOSTA A P

MUDANÇA DE PARADIGMA

FÓSFORO:

INEFICIENTE → EFICIENTE

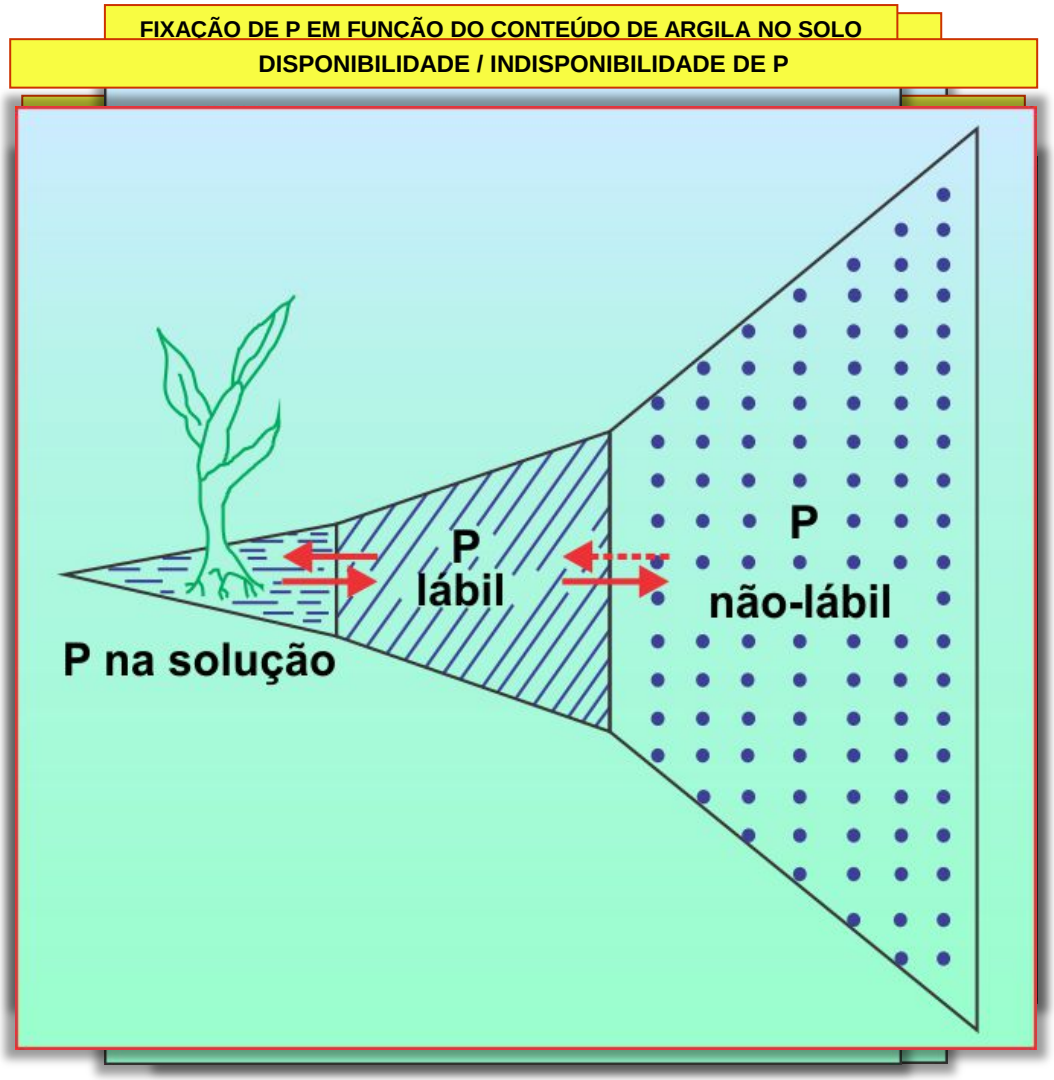
1. INTRODUÇÃO

REAÇÃO DO P NO SOLO:
DOIS FATOS FUNDAMENTAIS

- ✓ **PRECIPITAÇÃO**

  Compostos de Ca/Fe/Al-P

- ✓ **ADSORÇÃO ESPECÍFICA**



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[1]	15	5	80	Próximo das raízes
Ferro[1]	40	10	50	Próximo das raízes
Manganês[1]	15	5	80	Próximo das raízes
Zinco[1]	20	20	60	Próximo das raízes
Molibdênio[2]	5	95	0	Em cobertura (parte)

(1) Complementação com aplicação foliar.

(2) Aplicação via semente e/ou foliar.

Fonte: Modificada de Malavolta (1976).

2. Como otimizar o uso das fontes de P na Agricultura?

Ênfase em dois aspectos importantes:

✓ Como produzimos (tecnologia de produção) ?

✓ Como utilizamos (agronômicos) ?

FATORES QUE INFLUEM NA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DAS FONTES DE FÓSFORO

- ✓ Propriedades do fe
- ✓ **Propriedades do fertilizante**
- ✓ Cultura
- ✓ Propriedades do solo
- ✓ Fertilizante e manejo do solo

✓ Propriedades físicas:
- Estado (fluido ou sólido)
- Tamanho da partícula
- Consistência/Dureza
- Fluidez
- Densidade
- Misturas com outras fontes de nutrientes

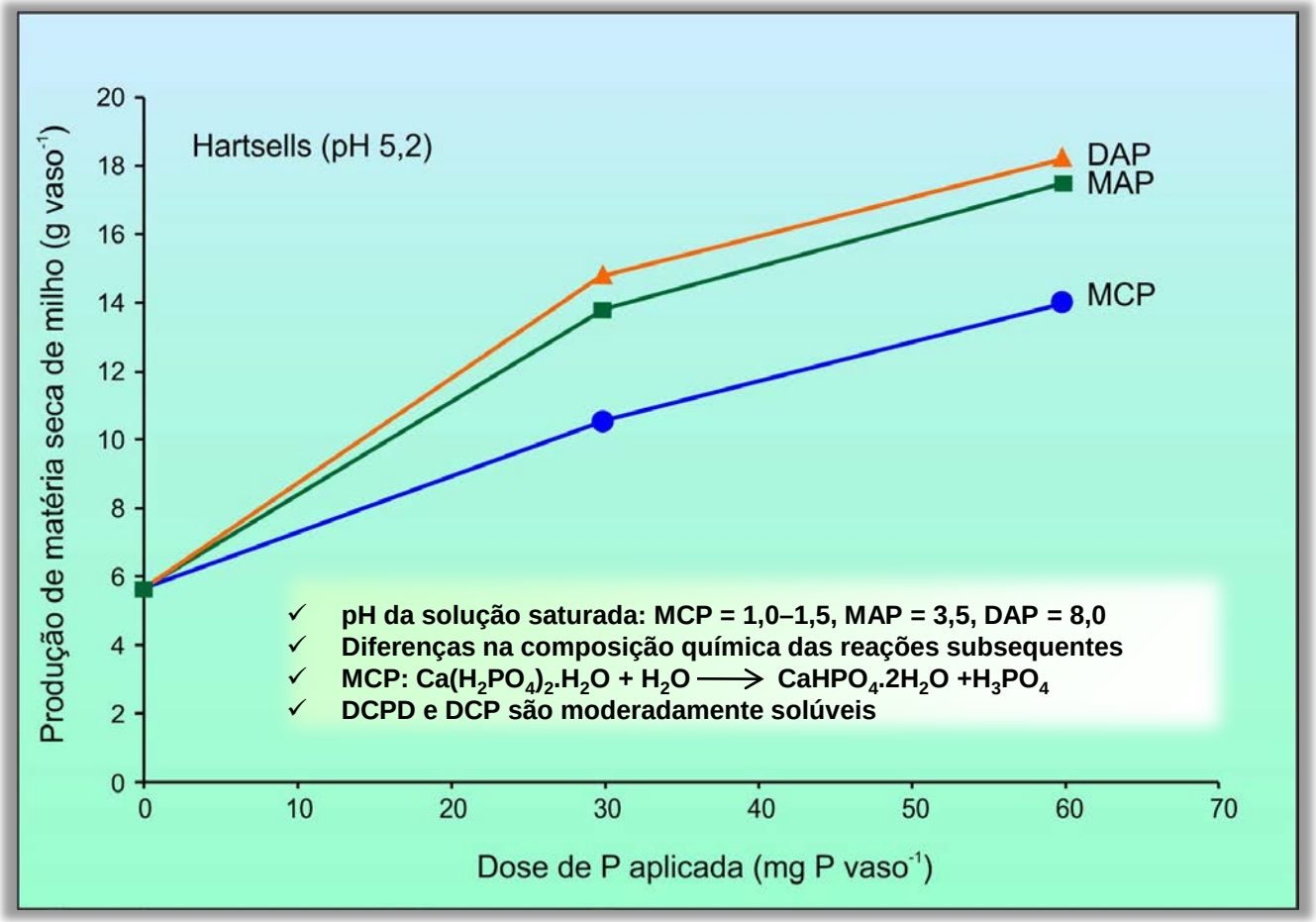
✓ Propriedades químicas:
- Composição química (compostos presentes)
- Concentração
- Outros compostos presentes (desejáveis ou não)/Outros nutrientes
- Reação no(s) solo(s): nível de acidez ou basicidade

✓ Propriedades físico-químicas:
- Solubilidade
- Higroscopicidade
- "Empedramento"/Endurecimento
- Salinidade

Considerando que todos os o

- Solubilidade
- Higroscopicidade
- ➢SSP = $Ca(H_2PO_4)_2.2H_2O$ e $CaSO_4.2H_2O$
- ➢TSP = $Ca(H_2PO_4)_2.2H_2O$
- ➢MAP = $NH_4H_2PO_4$
- ➢FR = $Ca_{10}(PO_4)_{6-x}(CO_3)_xF_{0,4x+2}$

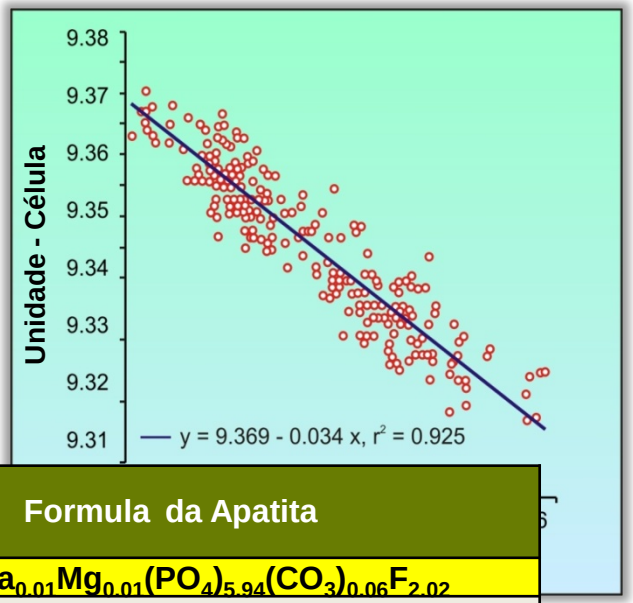
Rendimento de matéria seca de milho (6 semanas) obtido com diferentes fontes de P em um solo ácido Hartsells (pH 5,2)



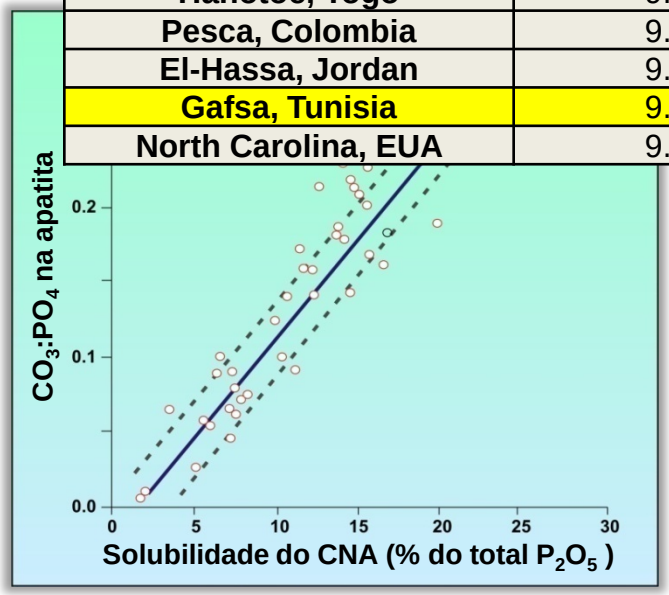
Fonte: Bouldin e Sample (1959).

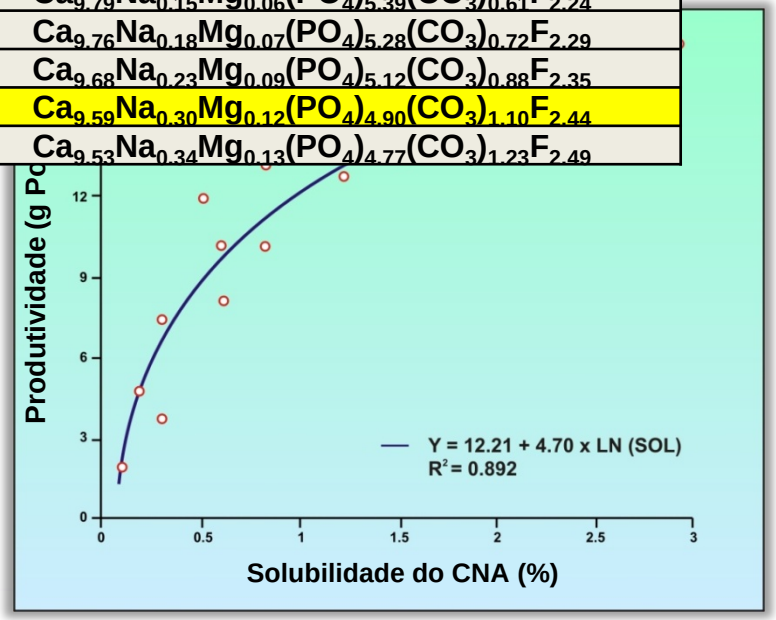
DA ROCHA FOSFÁTICA PARA SUA EFICÁCIA AGRONÔMICA

Rocha Fosfática	Raio X Comprimento (Å)	Formula da Apatita
Kaiyang, China	9.372	$Ca_{9.98}Na_{0.01}Mg_{0.01}(PO_4)_{5.94}(CO_3)_{0.06}F_{2.02}$
Hahotoe, Togo	9.351	$Ca_{9.79}Na_{0.15}Mg_{0.06}(PO_4)_{5.39}(CO_3)_{0.61}F_{2.24}$
Pesca, Colombia	9.346	$Ca_{9.76}Na_{0.18}Mg_{0.07}(PO_4)_{5.28}(CO_3)_{0.72}F_{2.29}$
El-Hassa, Jordan	9.339	$Ca_{9.68}Na_{0.23}Mg_{0.09}(PO_4)_{5.12}(CO_3)_{0.88}F_{2.35}$
Gafsa, Tunisia	9.328	$Ca_{9.59}Na_{0.30}Mg_{0.12}(PO_4)_{4.90}(CO_3)_{1.10}F_{2.44}$
North Carolina, EUA	9.322	$Ca_{9.53}Na_{0.34}Mg_{0.13}(PO_4)_{4.77}(CO_3)_{1.23}F_{2.49}$



Rocha Fosfática	Raio X Comprimento (Å)	Formula da Apatita
Kaiyang, China	9.372	$Ca_{9.98}Na_{0.01}Mg_{0.01}(PO_4)_{5.94}(CO_3)_{0.06}F_{2.02}$
Hahotoe, Togo	9.351	$Ca_{9.79}Na_{0.15}Mg_{0.06}(PO_4)_{5.39}(CO_3)_{0.61}F_{2.24}$
Pesca, Colombia	9.346	$Ca_{9.76}Na_{0.18}Mg_{0.07}(PO_4)_{5.28}(CO_3)_{0.72}F_{2.29}$
El-Hassa, Jordan	9.339	$Ca_{9.68}Na_{0.23}Mg_{0.09}(PO_4)_{5.12}(CO_3)_{0.88}F_{2.35}$
Gafsa, Tunisia	9.328	$Ca_{9.59}Na_{0.30}Mg_{0.12}(PO_4)_{4.90}(CO_3)_{1.10}F_{2.44}$
North Carolina, EUA	9.322	$Ca_{9.53}Na_{0.34}Mg_{0.13}(PO_4)_{4.77}(CO_3)_{1.23}F_{2.49}$





IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

Fonte: Hammond et al., (1986).

FATORES QUE INFLUEM NA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DAS FONTES DE FÓSFORO

- ✓ Propriedades do fertilizante
- ✓ **Cultura**
- ✓ Propriedades do solo
- ✓ Fertilizante e manejo do solo

- ✓ Cultura
- ✓ **Sistema de cultivo/rotação**

FATORES QUE INFLUEM NA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DOS FERTILIZANTES FOSFATADOS

CULTURA

Estimativa da concentração de P na solução do solo associada com 75% e 95% da produtividade máxima de culturas selecionadas

Cultura	Concentração aproximada de P (ppm) na solução do solo para dois níveis de produtividade	
	75% da produtividade máxima	95% da produtividade máxima
Mandioca	0,003	0,005
Amendoim	0,003	0,01
Milho	0,008	0,025
Trigo	0,009	0,028
Repolho	0,012	0,04
Batata	0,02	0,18
Soja	0,025	0,20
Tomate	0,05	0,20
Alface	0,10	0,30

Fonte: Fox, 1982, Better Crops Plant Food, 66:24.

RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO
Oxisol, 22 anos

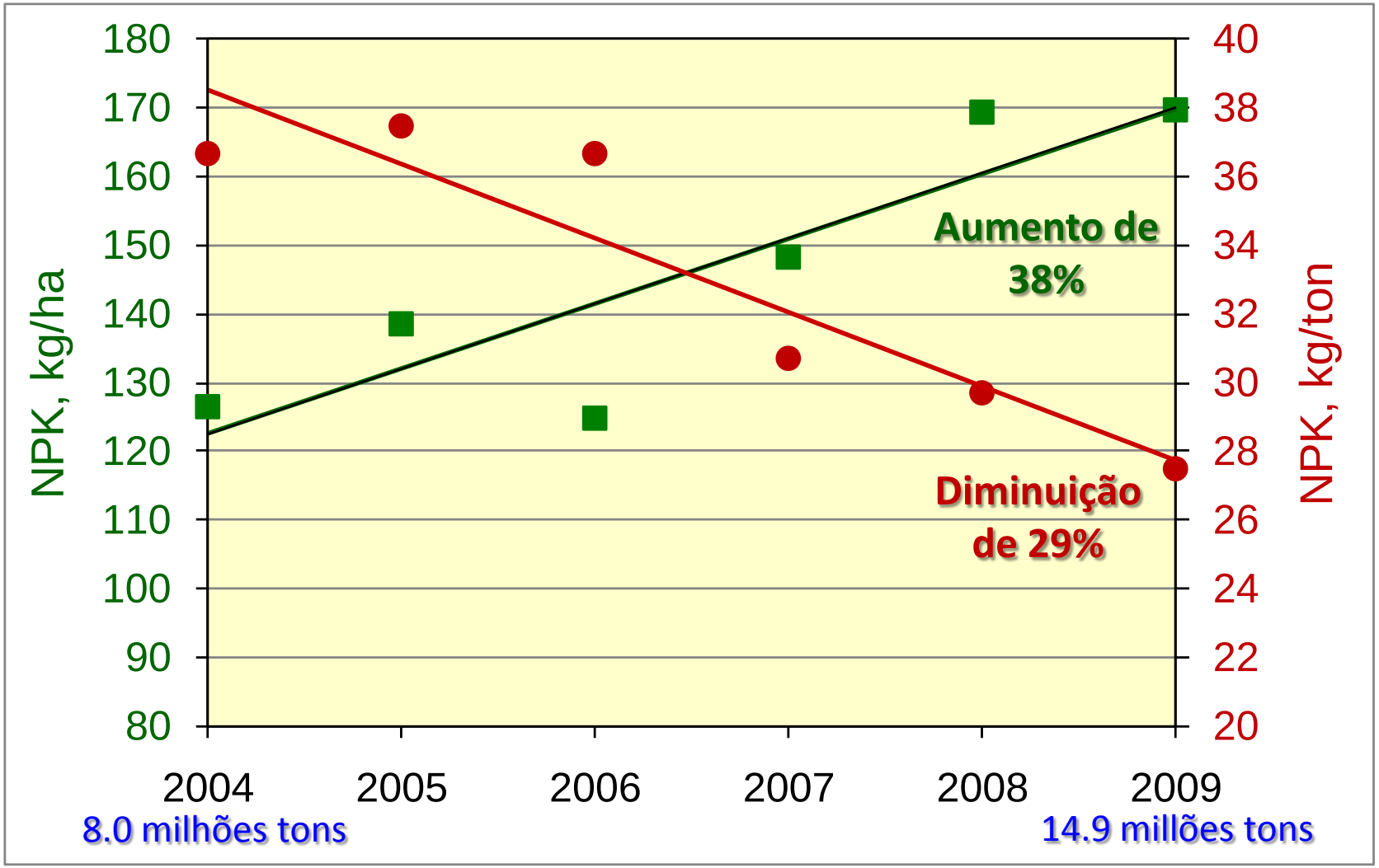
SSP	Recuperação de Fósforo	
	Culturas anuais[1]	Culturas anuais + Gramínea[2]
P_2O_5 (kg ha^{-1})	---------- % ----------	
100	44	85
200	40	82
400	35	70
800	40	62

[1] 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.

[2] 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.



Fonte: Dados fornecidos pela Fundação MT.

IPNI International Plant Nutrition Institute

FATORES QUE INFLUENCIAM NA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DAS FONTES DE FÓSFORO

- ✓ Propriedades do fertilizante
- ✓ Cultura
- ✓ **Propriedades do solo**
- ✓ Fertilizante e manejo do solo

- ✓ **Disponibilidade de P no solo**
- ✓ pH do solo
- ✓ Fixação de P no solo (precipitação e adsorção específica)
- ✓ Mineralogia do solo
- ✓ Granulometria do solo
- ✓ Matéria orgânica do solo
- ✓ Micorrizas

DA ANÁLISE ÀS RECOMENDAÇÕES

Avaliação da fertilidade do solo

Amostra	pH	O.M g dm^{-3}	P mg dm^{-3}	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S	BS	CEC	V%
				---------- mmol$_c$ dm^{-3} ----------								
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

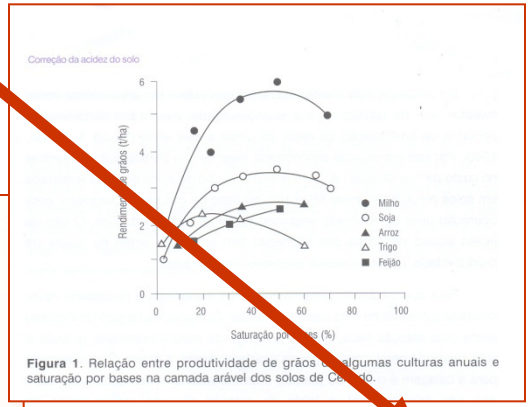


Figura 1. Relação entre produtividade de grãos de algumas culturas anuais e saturação por bases na camada arável dos solos de Cerrado.

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^3				K$^+$ trocável, mmol$_c$/dm^3			
		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_2O_5, kg/ha ———				——— K_2O, 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

([1]) É improvável a obtenção de alta produtividade de milho em solos com teores muito baixos de P, independentemente da dose de adubo empregada. ([2]) Para evitar excesso de sais, no sulco de plantio, a adubação potássica para doses maiores que 50 kg/ha de K_2O está parcelada, prevendo-se a aplicação em cobertura.

IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

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

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

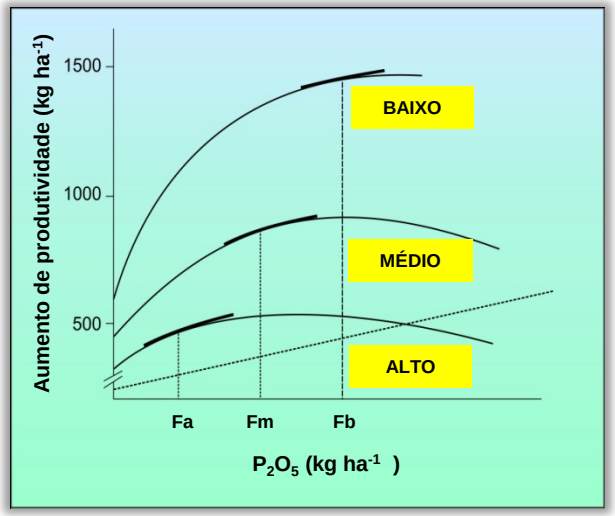


Tabela de Adubação

Adubação mineral de plantio: aplicar de acordo com a análise de solo e a produtividade esperada

Produtividade	Nitrogênio	P resina (mg dm^{-3})				K^+ trocável ($mmol_c$ dm^{-3})			
		0-6	7-15	16-40	> 40	0-0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	> 3,0
(t ha^{-1})	N (kg ha^{-1})	P_2O_5 (kg ha^{-1})				K_2O (kg ha^{-1}) (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.

Fonte: Raij et al, 1996.

IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

PROCEDIMENTO DEVE SER ESPECÍFICO PARA:

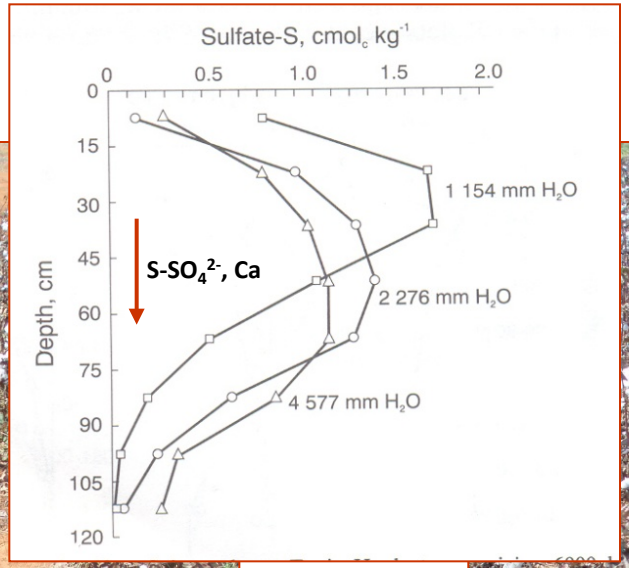
- ✓ Metodologia
- ✓ Área/região e solos considerados
- ✓ Sistema de cultivo
- ✓ Profundidade da amostragem

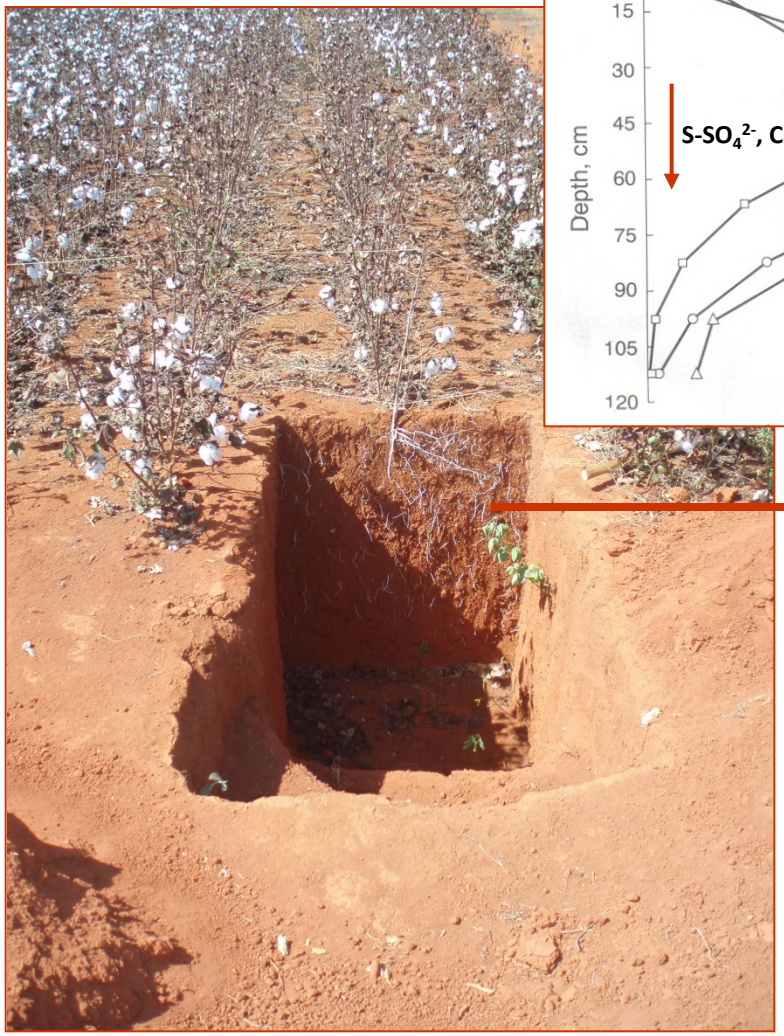
FATORES QUE INFLUEM NA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DAS FONTES DE FÓSFORO

- ✓ Propriedades do fertilizante
- ✓ Culturas
- ✓ Propriedades do solo
- ✓ **Fertilizante e manejo do solo**

- ✓ **Localização**
- ✓ **Manejo de outros nutrientes**
- ✓ **Manejo da água**
- ✓ **Manejo de outros fatores limitantes**

FOSFOGESSO





Experimento: EMBRAPA Cerrado.
Foto: IPNI.

IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELA CEVADA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E FOSFOGESSO

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	(g kg^{-1})					
CALCÁRIO						
Sem calcário	107,4	6,9	185,4 b	23,2	15,6	12,9
Calcário na superfície do solo	128,8	8,2	207,7 ab	32,7	13,3	15,6
Calcário misturado ao solo	138,9	7,2	237,6 a	32,3	16,1	17,2
Valor F	6,03 ns	4,23 ns	7,59*	3,82 ns	4,48 ns	1,87 ns
CV (%)	18,1	18,2	14,5	35,0	16,0	36,1
Fosfogesso (t ha^{-1})						
0	109,3	5,4	192,3	26,6	14,4	5,7
3	115,5	7,8	178,1	25,0	15,2	11,7
6	141,6	7,9	227,9	30,6	15,6	20,6
9	133,8	8,6	242,7	35,3	14,9	22,8
Efeito	L**	L**	L**	L**	ns	L**
CV (%)	18,9	29,2	17,1	24,2	23,9	27,6

Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%. L: efeito linear por regressão. ns: Não significativo a 5%, **:Significativo a 1%.

Extraído de E. F. Caires et al.

Fonte: Bragantia, Campinas, v. 60, n. 3, p. 213-223, 2001.

COMO PRODUZIMOS?
POTENCIAL PARA NOVAS FONTES DE P

CHAPTER EIGHT

Recent Developments of Fertilizer Production and Use to Improve Nutrient Efficiency and Minimize Environmental Impacts

S. H. Chien,*[,1] L. I. Prochnow,[†] *and* H. Cantarella[‡]

Contents

1. Introduction 268
2. Improving the Efficiency of Nitrogen Fertilizers 269
   - 2.1. Controlled-release coated urea products 270
   - 2.2. Slow-release urea–aldehyde polymer products 272
   - 2.3. Urea supergranules for deep placement 273
   - 2.4. Reducing nitrate leaching/denitrification by nitrification inhibitors 275
   - 2.5. Reducing ammonia volatilization by urease inhibitors 275
   - 2.6. Reducing ammonia volatilization and nitrate leaching/denitrification by combining urease and nitrification inhibitors 283
   - 2.7. Use of ammonium sulfate to enhance N efficiency of urea 286
3. Improving the Efficiency of Conventional Phosphorus Fertilizers 288
   - 3.1. Coated water-soluble phosphorus fertilizers 288
   - 3.2. Urea supergranules containing phosphorus and potassium nutrients 290
   - 3.3. Fluid versus granular water-soluble phosphorus fertilizers 291
4. Use of Nonconventional Phosphorus Fertilizers 293
   - 4.1. Phosphate rock for direct application 293
   - 4.2. Mixture of phosphate rock and water-soluble P 296
   - 4.3. Calcined nonapatite phosphate rock for direct application 297
   - 4.4. Agronomic effectiveness of nonconventional acidulated phosphate fertilizers 300
5. New Granular Nitrogen and Phosphorus Fertilizers Containing Sulfur Nutrient 306

* Formerly with International Fertilizer Development Center (IFDC), Muscle Shoals, Alabama, USA
† International Plant Nutrition Institute (IPNI), Piracicaba, SP, Brazil
‡ Instituto Agronômico, Campinas, SP, Brazil
1 Corresponding author: 1905 Beechwood Circle, Florence, Alabama, USA; email: nchien@comcast.net

Advances in Agronomy, Volume 102
ISSN 0065-2113, DOI: 10.1016/S0065-2113(09)01008-6

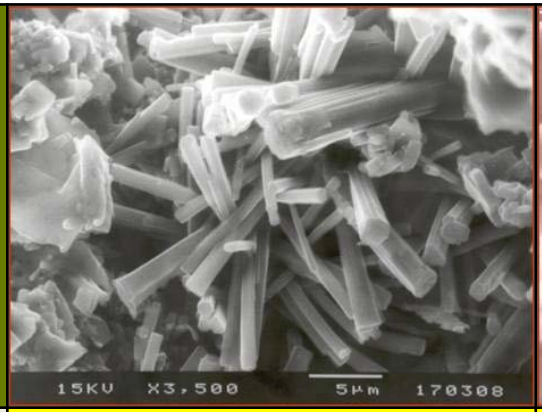
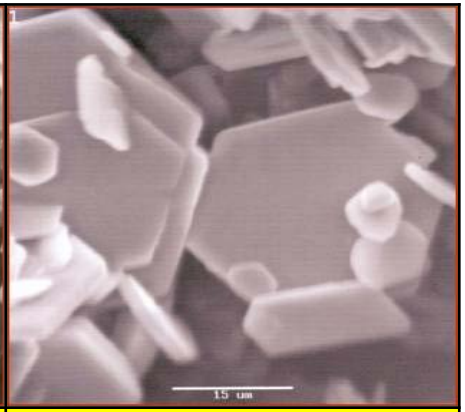
© 2009 Elsevier Inc.
All rights reserved.

IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

4.4. Agronomic effectiveness of nonconventional acidulated phosphate fertilizers

INFORMAÇÕES GERAIS

- ✓ **Em alguns países, os fertilizantes fosfatados acidulados devem ter elevada solubilidade em água na fração CNA+H_2O (PSA>90%; legislação ou tradição).**
- ✓ **O FR "Premium Grade" está diminuindo em todo o mundo.**
- ✓ **Altas quantidades de energia e dinheiro são gastas no intuito de produzir fertilizantes fosfatados com elevada solubilidade em água.**
- ✓ **Parte das apatitas no processo são descartadas.**
- ✓ **É realmente necessário que todas as fontes aciduladas de P tenham sempre elevada solubilidade em água?**

PERGUNTA/ CARACTERÍSTICAS, COMPOSIÇÃO		
Fórmula química	$Fe_3KH_8(PO_4)_6.6H_2O$	$Fe_3KH_{14}(PO_4)_8.4H_2O$
É mineral?	NÃO	NÃO
Onde ele precipita?	Fertilizante fosfatado, geralmente em SFS	Fertilizante fosfatado, geralmente em SFT
P Total (PT)	20,4	23,8
P solúvel em CNA (PSC)	19,3	22,8
P solúvel em água (PSA)	0,03	0,2
(PSA/PSC) * 100	0,2	0,9
RAE (MCP; Arroz de sequeiro)	33	73
RAE (MCP; Arroz inundado)	75	104

ANÁLISE DE DADOS EXPERIMENTAIS
16 CAMPOS

Tratamento	FONTE DE FÓSFORO	EAR MÉDIA	
1	SFS GCA (Alto PSA)	96,1	A
2	SFS RCA (Baixo PSA)	95,3	A
3	SFS GCA/RCA	94,5	A
4	SFS Patos (Baixo PSA)	95,5	A

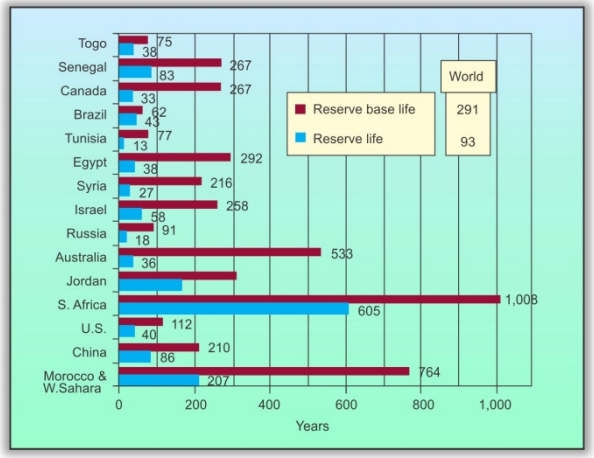
C.V. = 10.4; dms = 4.2.
1 Conjunto de dados = experimentos 01 sulco, 01 lanço, 02 sulco, 02 lanço, 04 sulco, 04 lanço, 07 granulado, 07 pó, 08-01 RSP, 08-01 RCP, 08-02 RSP, 08-02 RCP, 11, 12 M1, 12 M2, 12 M3.

3. OUTRAS CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES

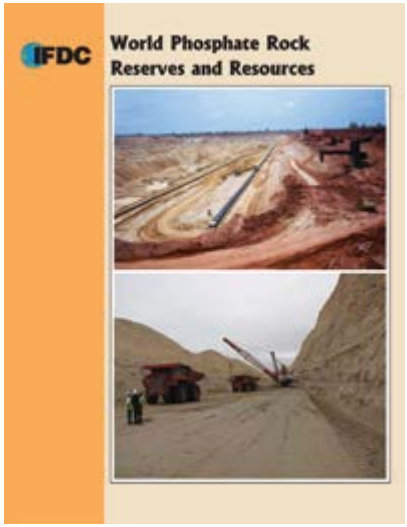
Comentário (1)

- ✓ **Ao contrário do se normalmente comenta existem recursos fosfatados para mais tempo do que normalmente se imagina**

LONGEVIDADE DA RESERVA E DA BASE DE RESERVA DAS MINAS DE FOSFATO



Relatório do IFDC indica recursos de fósforo adequados para satisfazer as demandas globais de alimento



✓ **Fosfato de rocha de primeira linha está diminuindo em todo o mundo**

Fonte: USGS, 2009; Adaptado de Fixen, 2009.

IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

Comentário (2)

- ✓ **É necessário utilizar os recursos fosfatados de forma eficiente com relação ao ambiente**

Lago em condição eutrófica em Oklahoma, EUA

<u>Eutrofização</u>: trata-se do envelhecimento de mananciais de água devido ao acúmulo de nutrientes.

Eutrófico = 0,025 – 0,1 mg L^{-1} de P

Foto: Dr. A. Sharpley

02 – Perdas acumuladas de fósforo reativo dissolvido e total do escoamento superficial de três solos

Solos	Fontes de P		
	Controle	Fosfato de rocha	SFT
Perda acumulada de fósforo reativo dissolvido (kg ha^{-1})			
Alvira	0,28	0,52	32,2
Berks	0,18	0,39	14,5
Watson	0,23	0,43	16,2
Média*	0,23 c	0,45 b	20,9 a
Perda acumulada de P total (kg ha^{-1})			
Alvira	0,35	0,83	33,2
Berks	0,30	0,68	15,5
Watson	0,31	0,72	19,6
Média*	0,32 c	0,74 b	22,7 a

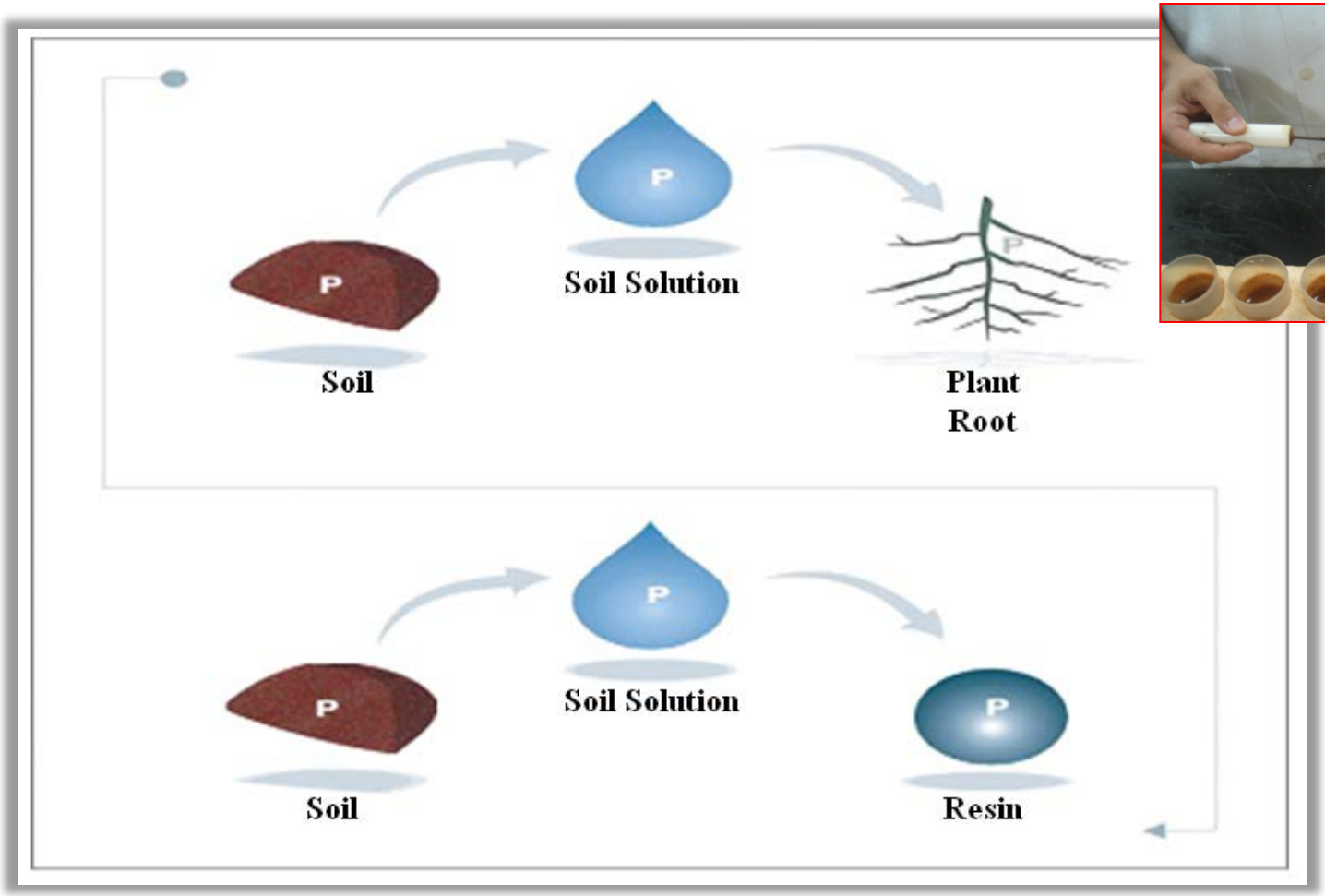
*Médias seguidas por diferentes letras são significativamente diferentes (P < 0,05).

Fonte: Shigaki et al. (2007).

Comentário (3)

- ✓ **Avaliação de P disponível em solos: P-Resina**

DEMONSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DO P EXTRAÍDO DO SOLO PELA RESINA TROCADORA DE ÍONS



Fonte: Better Crops/Vol. 93 (2009, Nº 1).

IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

Comentário (4)

- ✓ **Phosphate Rock Decision Support System (PRDSS)**

PRDSS

- ✓ **Conhecimento relativamente amplo mas havia necessidade de integração.**
- ✓ **Desenvolvido pelo IFDC em colaboração com a FAO/IAEA.**
- ✓ **Conjunto de dados mínimo:**

  (1) Solubilidade do FR
  (2) pH do solo
  (3) Cultura

- ✓ **Estimativa da eficiência agronômica relativa (EAR) do FR em relação ao PSA.**
- ✓ **Estimativa EAR inicial e residual (aplicação única ou aplicação anual).**
- ✓ **Baseado em considerações agronômicas e econômicas. PRDSS avalia se o use do FR é mais econômico que a fonte de PSA.**
- ✓ **Versão ainda necessita de aperfeiçoamento.**
- ✓ **Informação de domínio público através do site do IAEA:**

  www.iswam.iaea.org/dapr/srv/en/home

4. COMENTÁRIOS FINAIS

P na agricultura = Relacionado à Apatita = "Mineral que engana"

O nome estranho que a Apatita recebeu teve origem na palavra grega que significa "enganar" porque devido as suas variadas formas e cores faz com que mineralogistas inexperientes a confundam com uma dúzia de outros minerais (Zim et al, Rochas e Minerais, 1957)

Fosfato de rocha	Comprimento do eixo a (Å)	Fórmula da Apatita [a]
Kaiyang, China	9,372	$Ca_{9.98}Na_{0.01}Mg_{0.01}(PO_4)_{5.94}(CO_3)_{0.06}F_{2.02}$
Hahotoe, Togo	9,351	$Ca_{9.79}Na_{0.15}Mg_{0.06}(PO_4)_{5.39}(CO_3)_{0.61}F_{2.24}$
Pesca, Colombia	9,346	$Ca_{9.76}Na_{0.18}Mg_{0.07}(PO_4)_{5.28}(CO_3)_{0.72}F_{2.29}$
El-Hassa, Jordan	9,339	$Ca_{9.68}Na_{0.23}Mg_{0.09}(PO_4)_{5.12}(CO_3)_{0.88}F_{2.35}$
Gafsa, Tunisia	9,328	$Ca_{9.59}Na_{0.30}Mg_{0.12}(PO_4)_{4.90}(CO_3)_{1.10}F_{2.44}$
North Carolina, EUA	9,322	$Ca_{9.53}Na_{0.34}Mg_{0.13}(PO_4)_{4.77}(CO_3)_{1.23}F_{2.49}$

Luciano Pires
O Meu Evest

POETA ESPANHOL

ANTONIO MACHADO

CAMINANTE, NO HAY CAMINO.

SE HACE LO CAMINO AL CAMINAR.

OBRIGADO POR SUA ATENÇÃO COM VOTOS SINCEROS DE ENORME SUCESSO PARA AQUELES QUE LUTAM PELA AGRICULTURA E OS AGRICULTORES

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

Website:
http://www.ipni.net

Telefone/fax:
55 (19) 3433-3254