

# **Fósforo no Solo e Interação com outros Nutrientes**

**Apresentado no Simpósio sobre Fósforo na  
Agricultura Brasileira - POTAFOS**

**Por Bernardo van Raij**

**Do Instituto Agronômico de Campinas**

**Em Piracicaba, 14 de maio de 2003**

# Fósforo – baixo aproveitamento nas adubações

- **Aplicações em adubações maiores que extrações**
- **Ocorre “fixação” de P no solo**
- **Com P se aduba o solo**
- **Com N e K se aduba a planta**



# Fósforo – grande afinidade com cálcio, ferro e alumínio

**Solos brasileiros são ricos em óxidos de ferro e alumínio**

- **Reações de P com Ca, Fe ou Al determinam, em grande parte, a biodisponibilidade de P**
- **É o que passamos a discutir**

# Fósforo

**É um não-metal.**

**Número atômico 15 e massa atômica 31.**

**Domínio do ácido ortofosfórico -  $\text{H}_3\text{PO}_4$   
– e seus compostos.**

**Minerais são todos ortofosfatos.**

# As formas de fósforo de Chang e Jackson

$\text{NH}_4\text{Cl}$  – P solúvel

$\text{NH}_4\text{F}$  – P-Al

$\text{NaOH}$  – P - Fe

$\text{H}_2\text{SO}_4$  – P-Ca

No Brasil: P-Fe > P-Al > P-Ca

# Resultados de formas de fósforo

Local, citação e solos	Formas de P no solo, mg kg <sup>-1</sup>		
	P-Al	P-Fe	P-Ca
<b>Bahia (Cabala &amp; Fassbender, 1971)</b>			
<b>Cepec</b>	<b>103</b>	<b>863</b>	<b>241</b>
<b>Itabuna</b>	<b>3</b>	<b>36</b>	<b>19</b>
<b>Rio Branco</b>	<b>25</b>	<b>257</b>	<b>38</b>
<b>Goiás (Bahia Filho &amp; Braga, 1975)</b>			
<b>LE</b>	<b>34</b>	<b>44</b>	<b>36</b>
<b>LE</b>	<b>332</b>	<b>313</b>	<b>112</b>

# Fosfatos no solo – Fe e Al

- **Minerais ou “produtos finais” da adubação:**
  - **Estrengita –  $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$**
  - **Variscita –  $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$**
- **Fosfatos de alumínio são mais importantes, maior interação com acidez do solo.**
- **Em condições anaeróbicas, os fosfatos de ferro adquirem maior importância.**

# Fosfatos no solo – Ca

Minerais ou “produtos finais” da adubação

Fosfato dicálcico –  $\text{CaHPO}_4$

Fosfato tricálcico –  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

Fosfato octocálcico –  $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3$

Hidroxiapatita –  $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$

Fluorapatita –  $\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$

# Solubilidade de fosfatos

Fosfatos da maior parte dos cátions têm baixa solubilidade: Ca, Mg, Al, Fe, Mn e até de  $\text{NH}_4$  e K, dependendo das condições de pH.

A disponibilidade de P em solos para as plantas é muito afetada pelo pH.

# Produto de solubilidade do fosfato de alumínio



$$K_{\text{sp}} = [\text{Al}^{3+}] [\text{PO}_4^{3-}]$$

$$[\text{PO}_4^{3-}] = 9,91 \times 10^{-11} \text{ mol L}^{-1}$$

Ou

$$3,07 \times 10^{-6} \text{ mg P L}^{-1} = 0,00000307 \text{ mg P L}^{-1}$$

# Isotermas de solubilidade – Representação logarítmica

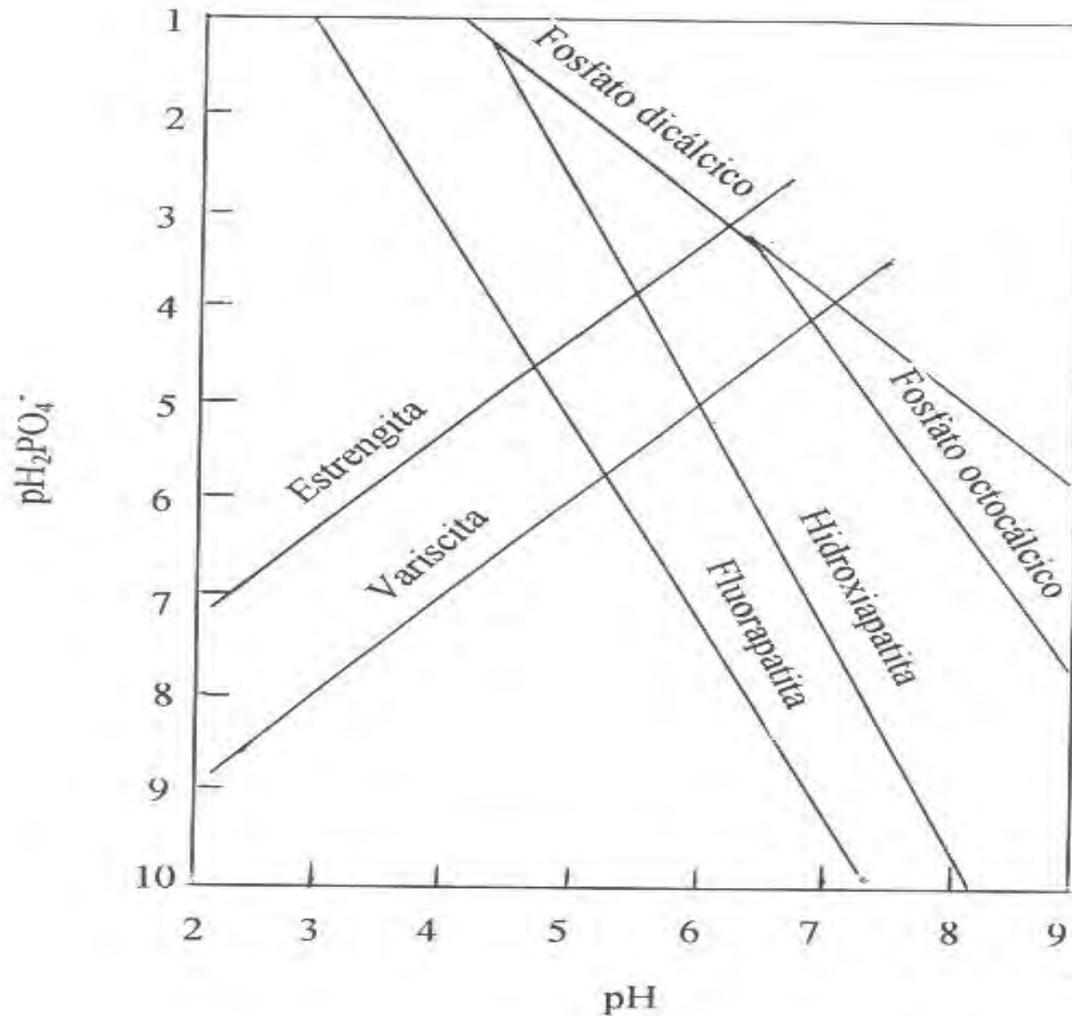
$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = \log 1/[\text{H}^+]$$

$$\text{pH } 6 = 10^{-6}; \text{ pH } 5 = 10^{-5} \quad \text{ou } 10 \text{ x mais!}$$

$$\text{pH}_2\text{PO}_4 = 6 = 0,031 \text{ mg P L}^{-1}$$

$$\text{pH}_2\text{PO}_4 = 5 = 0,31 \text{ mg P L}^{-1} \quad \text{ou } 10 \text{ x mais}$$

# Isotermas de solubilidad



# Compostos de fósforo em solos adubados

Em solos recém adubados (recém = anos), isotermas de solubilidade servem apenas para indicar tendências.

Isto porque há dezenas de compostos, em formas meta-estáveis ou em transformação.

# Uma representação muito usada

**P** fertilizante



**P** solução  $\leftrightarrow$  **P** lábil  $\rightarrow$  **P** não-lábil

# Uma representação muito usada x “fixação” de P



Adsorção máxima (“fixação”) inclui

$P_{\text{lável}}$  e  $P_{\text{não-lável}}$

É útil para comparar solos, mas não informa sobre a disponibilidade de P.

# O significado de $P_{\text{lábil}}$

Nome tem origem em estudos de troca isotópicas com  $^{32}\text{P}$ .

Tem sido aceito como o P disponível.  
Também P extraído com resina tem sido chamado de  $P_{\text{lábil}}$

É importante avaliar o  $P_{\text{lábil}}$ , não importando a qual metal esteja ligado, Fe, Al, Ca ou outro.

# Efeito da calagem no pH, produção e P em folhas de feijão (Raij & Quaggio, 1990).

<b>Cultura</b>	<b>Calcário, t ha<sup>-1</sup></b>	<b>pH em CaCl<sub>2</sub></b>	<b>Produção, kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>P – folhas. g kg<sup>-1</sup></b>
<b>Feijão</b>	<b>0</b>	<b>3,8 d</b>	<b>1.080 a</b>	<b>2,44 b</b>
	<b>6</b>	<b>4,2 c</b>	<b>1.530 ab</b>	<b>3.21 a</b>
<b>Pariquera -Açu</b>	<b>12</b>	<b>4,7 b</b>	<b>1.740 b</b>	<b>3.25 a</b>
	<b>18</b>	<b>5,1 a</b>	<b>1,720 b</b>	<b>3.26 a</b>
	<b>24</b>	<b>5,2 a</b>	<b>1.780 b</b>	<b>3.25 a</b>

# Efeito da calagem no pH, produção e P em folhas de girassol (Raij & Quaggio, 1990).

<b>Cultura</b>	<b>Calcário, t ha<sup>-1</sup></b>	<b>pH em CaCl<sub>2</sub></b>	<b>Produção, kg há<sup>-1</sup></b>	<b>P – folhas. g kg<sup>-1</sup></b>
<b>Girassol Mococa</b>	<b>0</b>	<b>4,3 c</b>	<b>900 a</b>	<b>2,79 c</b>
	<b>2</b>	<b>4,6 c</b>	<b>1.513 b</b>	<b>3,27 b</b>
	<b>4</b>	<b>5,3 b</b>	<b>2,058 bc</b>	<b>3,81 a</b>
	<b>6</b>	<b>5,5 ab</b>	<b>2.055 c</b>	<b>3,87 a</b>
	<b>8</b>	<b>5,7 a</b>	<b>2.490 c</b>	<b>3,80 a</b>

# Efeito da calagem no pH, produção e P em folhas de soja (Raij & Quaggio, 1990).

<b>Cultura</b>	<b>Calcário, t ha<sup>-1</sup></b>	<b>pH em CaCl<sub>2</sub></b>	<b>Produção, kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>P – folhas. g kg<sup>-1</sup></b>
<b>Soja</b>	<b>0</b>	<b>4,3 e</b>	<b>1.274 a</b>	<b>1,85 c</b>
<b>Mococa</b>	<b>2</b>	<b>4,8 d</b>	<b>2.020 b</b>	<b>2,06 bc</b>
	<b>4</b>	<b>5,5 c</b>	<b>2.308 bc</b>	<b>2,44 ab</b>
	<b>6</b>	<b>6,1 b</b>	<b>2.649 cd</b>	<b>2,26 a</b>
	<b>8</b>	<b>6,4 a</b>	<b>2,372 d</b>	<b>2,55 a</b>

# Efeito da calagem no pH, produção e P em folhas de soja (Raij & Quaggio, 1990).

<b>Cultura</b>	<b>Calcário, t ha<sup>-1</sup></b>	<b>pH em CaCl<sub>2</sub></b>	<b>Produção, kg há<sup>-1</sup></b>	<b>P – folhas. g kg<sup>-1</sup></b>
<b>Soja Ribeirão Preto</b>	<b>0</b>	<b>4,5 d</b>	<b>1.734 a</b>	<b>2,35 b</b>
	<b>3</b>	<b>4,9 c</b>	<b>2.246 b</b>	<b>2,69 ab</b>
	<b>6</b>	<b>6,1 b</b>	<b>2.483 cb</b>	<b>2,88 a</b>
	<b>9</b>	<b>6,6 a</b>	<b>2.622 c</b>	<b>2,85 a</b>

# Combinação de calagem e adubação fosfatada no RS (Kochhann et al., 1982)

Calcário t ha <sup>-1</sup>	Produção de soja, em kg ha <sup>-1</sup> , para as seguintes aplicações de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , em kg ha <sup>-1</sup>		
	0	80	160
0	1.800	2.750	3.160
7	1.980	3.180	3.960
14	2.420	3.620	3.900

# Calagem e adubação de P corretiva no RS (Kochhann et al., 1982).

Calcário t ha <sup>-1</sup>	Fósforo aplicado – kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>				
	0	100	200	300	400
Aumento de produção de soja – kg ha <sup>-1</sup>					
0	725	1,717	1.732	2.195	2.485
6	1.512	2.260	2.355	2.427	2.442
12	1.785	2.412	2,557	2.300	2.505
18	1.927	2.517	2.320	2.390	2.507
24	1.525	2.422	2.492	2,795	2.407

# CONCLUSÃO

**Cálcio, alumínio e ferro são os principais elementos químicos que interagem com fósforo em solo e controlam sua disponibilidade para as plantas.**

**Por essa razão, a elevação do pH do solo através da calagem, aumenta a disponibilidade de P para as plantas .**

# Fim da palestra

➤ **Agradeço a atenção**

➤ **BvR**