

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 - H_3PO_4
– e seus compostos.**

Minerais são todos ortofosfatos.

As formas de fósforo de Chang e Jackson

NH_4Cl – P solúvel

NH_4F – P-Al

NaOH – P - Fe

H_2SO_4 – P-Ca

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

Resultados de formas de fósforo

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

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 – 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 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



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

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

Ou

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

Isotermas de solubilidade – Representação logarítmica

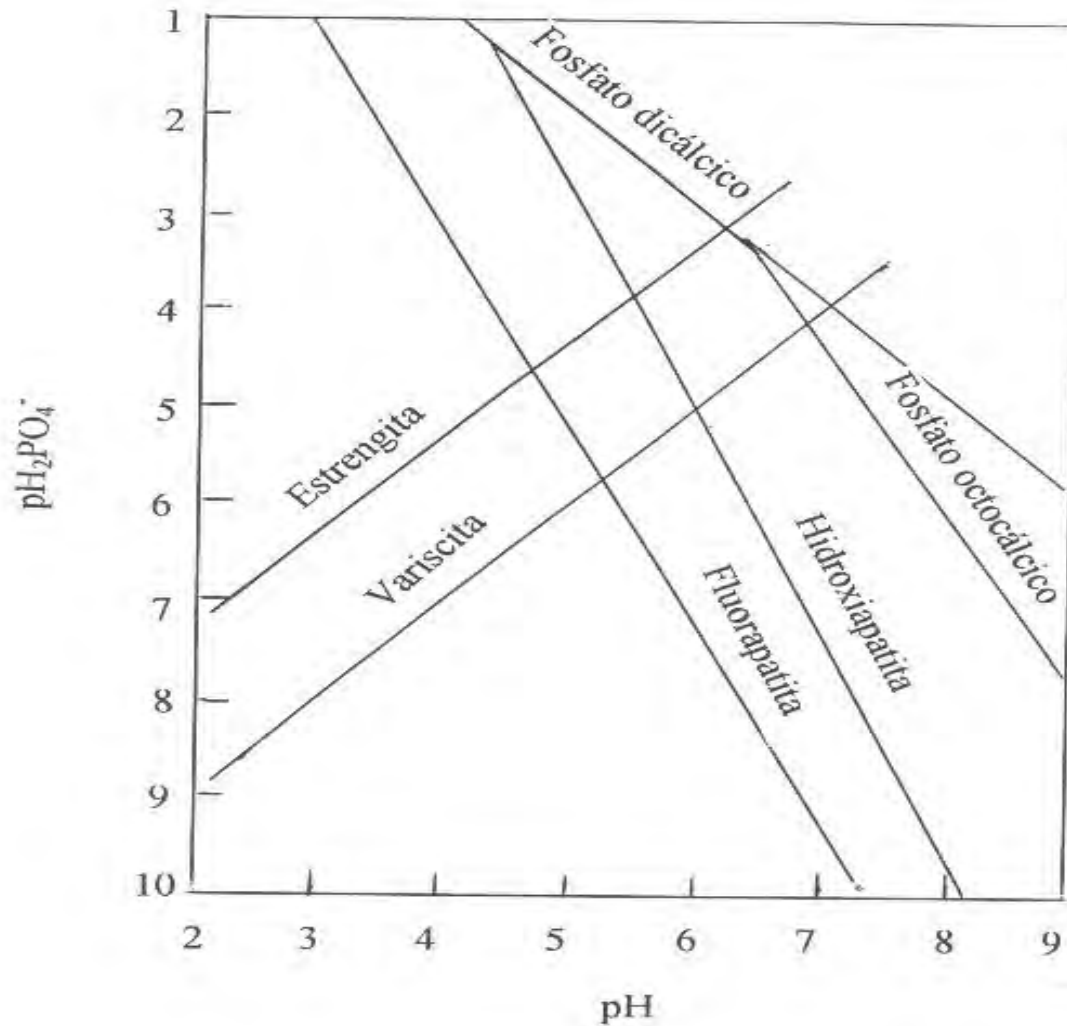
$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = \log 1/[\text{H}^+]$$

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

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

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

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

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

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}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).

Cultura	Calcário, t ha⁻¹	pH em CaCl₂	Produção, kg ha⁻¹	P – folhas. g kg⁻¹
Feijão	0	3,8 d	1.080 a	2,44 b
Pariquera -Açu	6	4,2 c	1.530 ab	3.21 a
	12	4,7 b	1.740 b	3.25 a
	18	5,1 a	1,720 b	3.26 a
	24	5,2 a	1.780 b	3.25 a

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

Cultura	Calcário, t ha⁻¹	pH em CaCl₂	Produção, kg há⁻¹	P – folhas. g kg⁻¹
Girassol Mococa	0	4,3 c	900 a	2,79 c
	2	4,6 c	1.513 b	3,27 b
	4	5,3 b	2,058 bc	3,81 a
	6	5,5 ab	2.055 c	3,87 a
	8	5,7 a	2.490 c	3,80 a

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

Cultura	Calcário, t ha⁻¹	pH em CaCl₂	Produção, kg ha⁻¹	P – folhas. g kg⁻¹
Soja	0	4,3 e	1.274 a	1,85 c
Mococa	2	4,8 d	2.020 b	2,06 bc
	4	5,5 c	2.308 bc	2,44 ab
	6	6,1 b	2.649 cd	2,26 a
	8	6,4 a	2,372 d	2,55 a

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

Cultura	Calcário, t ha⁻¹	pH em CaCl₂	Produção, kg há⁻¹	P – folhas. g kg⁻¹
Soja Ribeirão Preto	0	4,5 d	1.734 a	2,35 b
	3	4,9 c	2.246 b	2,69 ab
	6	6,1 b	2.483 cb	2,88 a
	9	6,6 a	2.622 c	2,85 a

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

Calcário t ha ⁻¹	Produção de soja, em kg ha ⁻¹ , para as seguintes aplicações de P ₂ O ₅ , em kg ha ⁻¹		
	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 ⁻¹	Fósforo aplicado – kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹				
	0	100	200	300	400
Aumento de produção de soja – kg ha ⁻¹					
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**