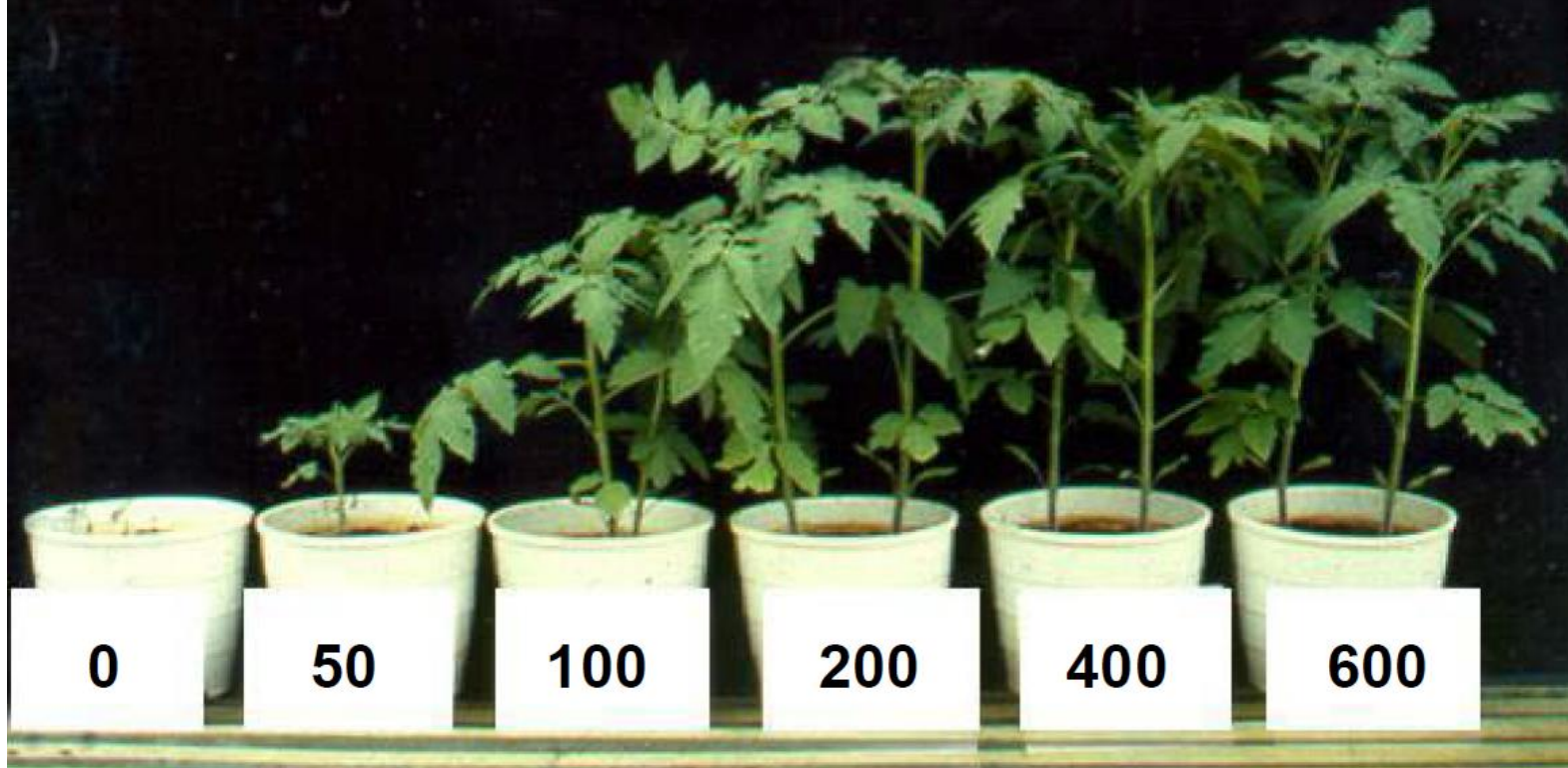


# FÓSFORO NO SOLO

# Diferentes doses de P no Cultivo do Tomateiro ( $\text{mg dm}^{-3}$ )



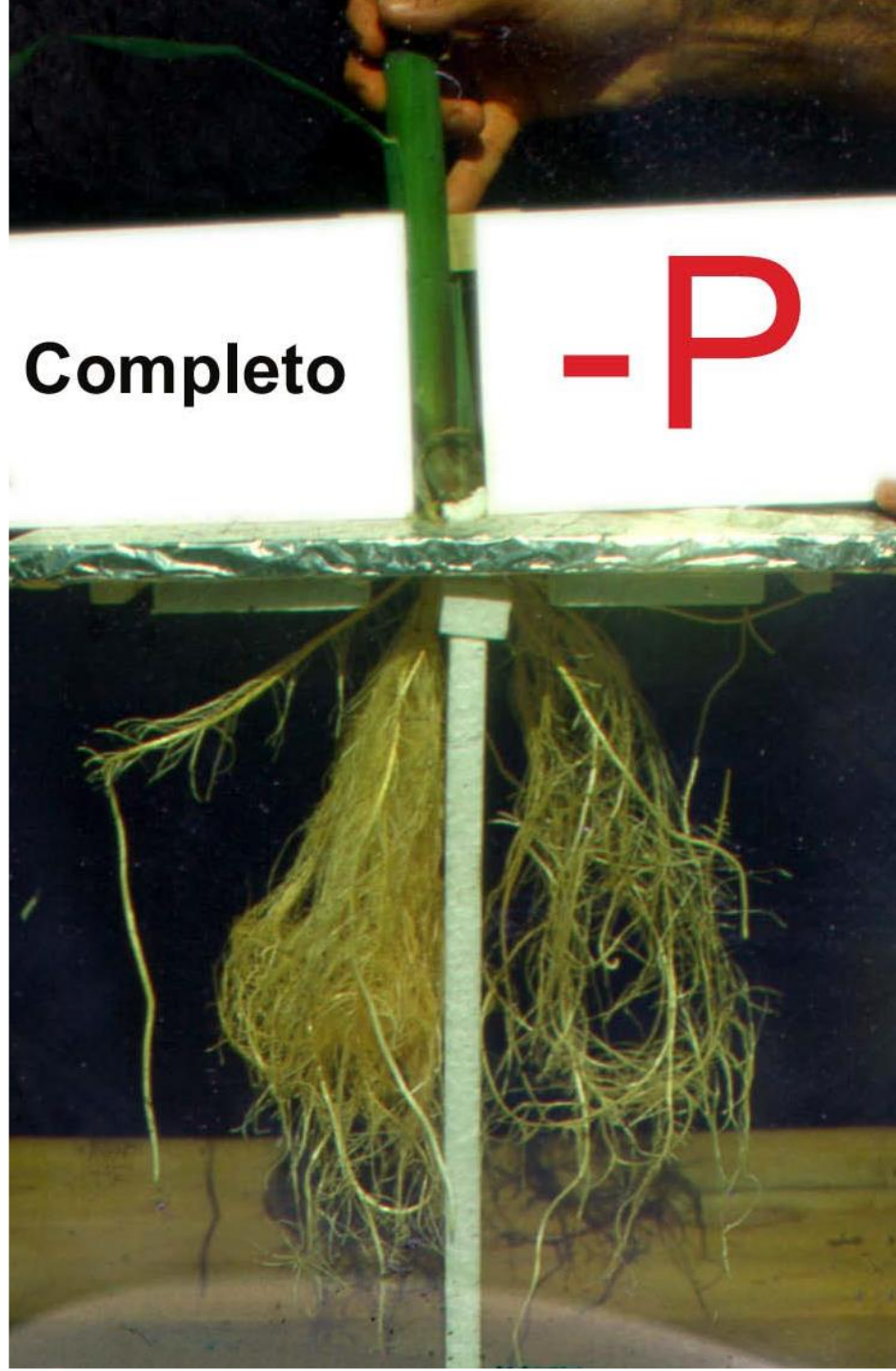
Fonte: Roberto F. Novais

**Sem fosfato**



Fonte: Roberto F. Novais





Fonte: Roberto F. Novais



# FÓSFORO NO SOLO

## 1. Características do P:

- Menos exigido pelas plantas que o N e o K
- Muito deficiente na maioria dos solos no Brasil
- Sofre forte interação com a fase sólida
- Baixa mobilidade no solo
- Forma inúmeros compostos minerais, principalmente com Fe, Al, Ca, Mg e K

COMPOSTOS FORMADOS PELA REAÇÃO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS COM OS CONSTITUINTES DO SOLO (Tisdale e outros, 1985- "Soil Fertility and Fertilizers")

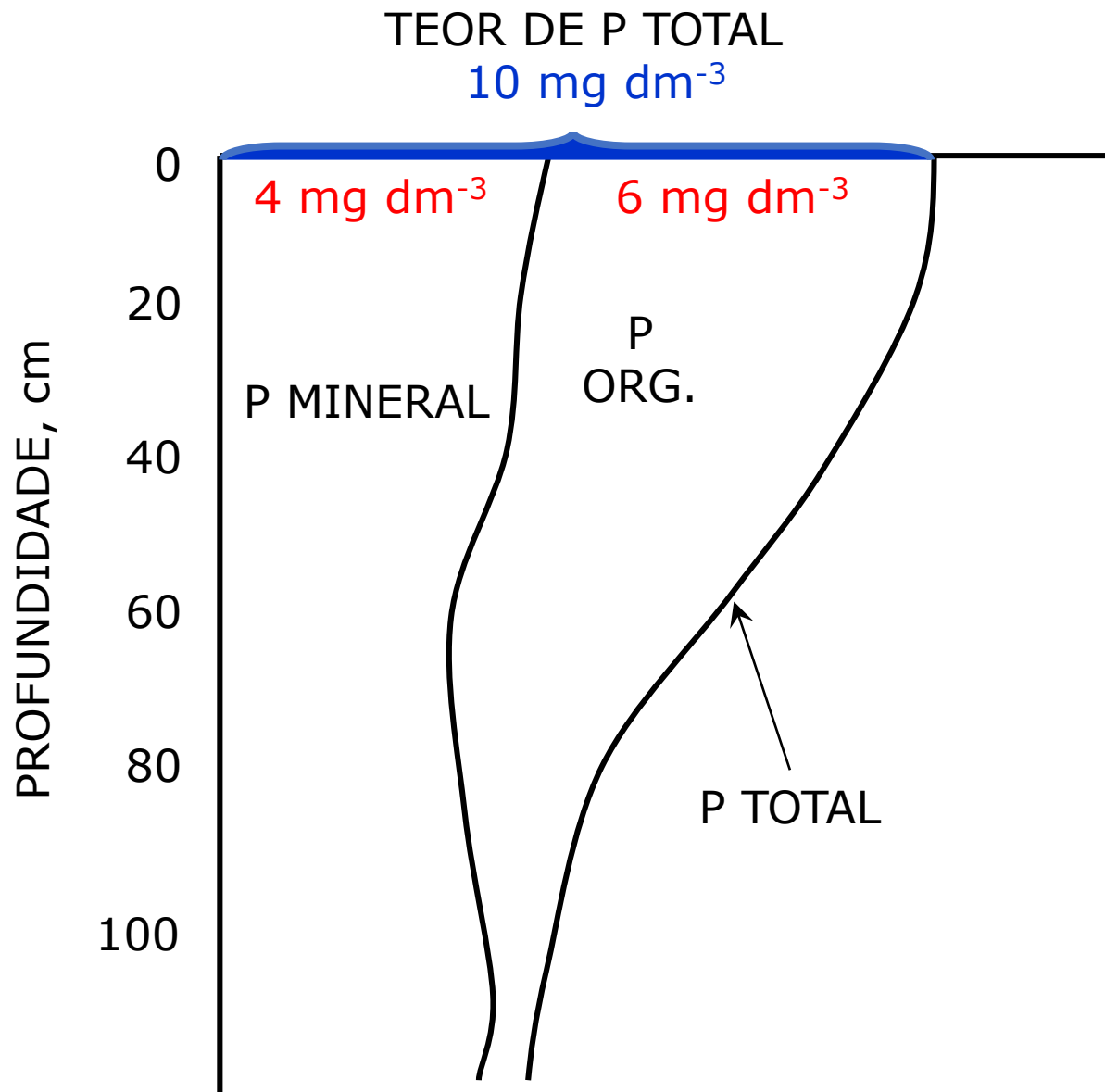
<i>Compound</i>	<i>Mineral Name</i>	<i>Compound</i>	<i>Mineral Name</i>
$AlPO_4 \cdot 2H_2O$	Variscite	$FePO_4 \cdot 2H_2O$	Metastrençite
$AlPO_4 \cdot 2H_2O$	Metavariscite	$Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$	Vivianite
$Al(NH_4)_2H(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$	—	$FeNH_4(HPO_4)_2$	—
$Al_2(NH_4)_2H_2(PO_4)_4 \cdot H_2O$	—	$Fe_3NH_4H_8(PO_4)_6 \cdot 6H_2O$	—
$Al_5(NH_4)_3H_6(PO_4)_8 \cdot 18H_2O$	NH <sub>4</sub> -taranakite	$Fe_3K_4H_8(PO_4)_6 \cdot 6H_2O$	—
$AlNH_4PO_4OH \cdot 2H_2O$	—	$Fe_2K(PO_4)_2OH \cdot 2H_2O$	K-leucophosphite
$AlNH_4PO_4OH \cdot 3H_2O$	—	$MgH_2PO_4 \cdot 3H_2O$	Newberryite
$Al_2NH_4(PO_4)_2OH \cdot 2H_2O$	—	$Mg_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$	—
$Al_2NH_4(PO_4)_2OH \cdot 8H_2O$	—	$Mg_3(PO_4)_2 \cdot 22H_2O$	—
$AlKH_2(PO_4)_2 \cdot H_2O$	—	$MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$	Struvite
$Al_5K_3H_6(PO_4)_8 \cdot 18H_2O$	K-taranakite	$Mg(NH_4)_2(HPO_4)_2 \cdot 4H_2O$	Schertelite
$Al_2K(PO_4)_2OH \cdot 2H_2O$	Leucophosphite	$Mg_3(NH_4)_2(HPO_4)_4 \cdot 8H_2O$	Hannayite
$AlKPO_4OH \cdot 0.5H_2O$	—	$MgK_2PO_4 \cdot 6H_2O$	—
$AlKPO_4OH \cdot 1.5H_2O$	—	$Mg_2KH(PO_4)_2 \cdot 15H_2O$	—
$Al_2K(PO_4)_2(F,OH) \cdot 3H_2O$	Minyulite	$K(NH_4)_2P_2O_7OH \cdot 2H_2O$	—
$CaH_2PO_4$	Monetite	$Ca_2P_2O_7 \cdot 2H_2O$	—
$CaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$	Brushite	$Ca_2P_2O_7 \cdot 4H_2O$	—
$Ca_8H_2(PO_4)_6 \cdot 5H_2O$	Octocalcium phosphate	$Ca_3H_2(P_2O_7)_2 \cdot 4H_2O$	—
$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$	Hydroxyapatite	$Ca(NH_4)_2P_2O_7 \cdot H_2O$	—
$Ca_{10}(PO_4)_6F_2$	Fluorapatite	$Ca_3(NH_4)_2(P_2O_7)_2 \cdot 6H_2O$	—
$CaAlH_2(PO_4)_2 \cdot 6H_2O$	—	$Ca_5(NH_4)_2(P_2O_7)_3 \cdot 6H_2O$	—
$CaAl_6H_4(PO_4)_3 \cdot 20H_2O$	—	$CaNH_4HP_2O_7$	—
$CaNH_4PO_4 \cdot H_2O$	—	$Ca_2NH_4H_3(P_2O_7)_2 \cdot 3H_2O$	—
$Ca(NH_4)_2(HPO_4)_2 \cdot H_2O$	—	$CaK_2H_2O_7$	—
$Ca_2NH_4H_7(PO_4)_4 \cdot 2H_2O$	NH <sub>4</sub> -Flatt's salt	$Ca_3K_2P_2O_7 \cdot 2H_2O$	—
$Ca_2(NH_4)_2(HPO_4)_3 \cdot 2H_2O$	—	$Ca_5K_2P_2O_7 \cdot 6H_2O$	—
$CaKPO_4 \cdot H_2O$	—	$Ca_2KH_3(P_2O_7)_2 \cdot 3H_2O$	—
$CaK_3H(PO_4)_2$	—	$CaNa_2P_2O_7 \cdot 4H_2O$	—
$Ca_2K_3H_7(PO_4)_4 \cdot 2H_2O$	K-Flatt's salt	$Fe(NH_4)_2P_2O_7 \cdot 2H_2O$	—
$CaFe_2H_4(PO_4)_4 \cdot 5H_2O$	—	$Mg(NH_4)_2P_2O_7 \cdot 4H_2O$	—
$CaFe_2H_4(PO_4)_4 \cdot 8H_2O$	—	$Mg(NH_4)_6(P_2O_7)_2 \cdot 6H_2O$	—
$Ca_2Mg_3(PO_4)_4$	—	$Mg(NH_4)_2H_4(P_2O_7)_2 \cdot 2H_2O$	—
$FePO_4 \cdot 2H_2O$	Strengite	$Ca(NH_4)_3P_3O_{10} \cdot 2H_2O$	—

Source: Sample et al., in F. E. Khasawneh et al., Eds., *The Role of Phosphorus in Agriculture*, p. 284. Madison, Wis.: American Society of Agronomy, 1980.

## 2. Conteúdo no solo e distribuição no perfil

- **Grande parte dos solos brasileiros são muito pobres em P**
- **No est. de SP: P-resina varia de 1 a 30 mg dm<sup>-3</sup> de P, sendo mais comum entre 3 e 10 mg dm<sup>-3</sup>**
- **Mais ricos em P: derivados de rochas basalto e diabásio e pouco intemperizados;**
- **Mais pobres em P : excessivamente intemperizados ou derivados de arenitos e calcários**





Distribuição típica do P no perfil do solo

### 3. Formas de ocorrência de P no solo

#### a) P nos minerais primários

Constituem a fonte original do P do solo

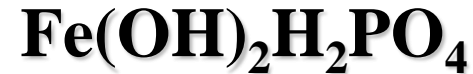
Mais importantes: apatitas:

Fluorapatita	$\text{CaF}_2 \cdot \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
Hidroxiapatita	$\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
Cloroapatita	$\text{CaCl}_2 \cdot \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
Carbonatoapatita	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

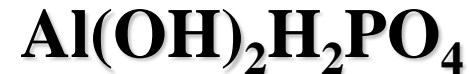
## **b) P nos minerais secundários**

**Mais importantes:**

**Estrengita**



**Variscita**



**Fosfato dicálcico**



**Fosfato tricálcico**



**Fosfato octocálcico**





## c) P orgânico

Representa de 25 a 75% do total de P do solo

### Principais formas:

- Fosfatos de inositol ou fitinas (principais)

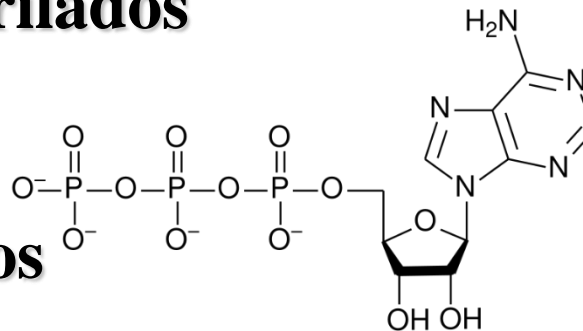
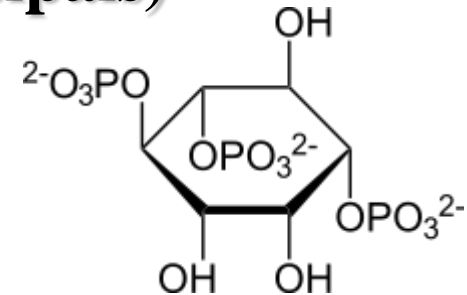
- Fosfolipídeos

- Açúcares fosforilados

- ATP

- Ácidos nucleicos

- ânion fosfato  $H_2PO_4^-$  ligado a radicais orgânicos da MOS



## d) P na solução do solo

Ocorre em concentrações muito baixas

Principais formas químicas:

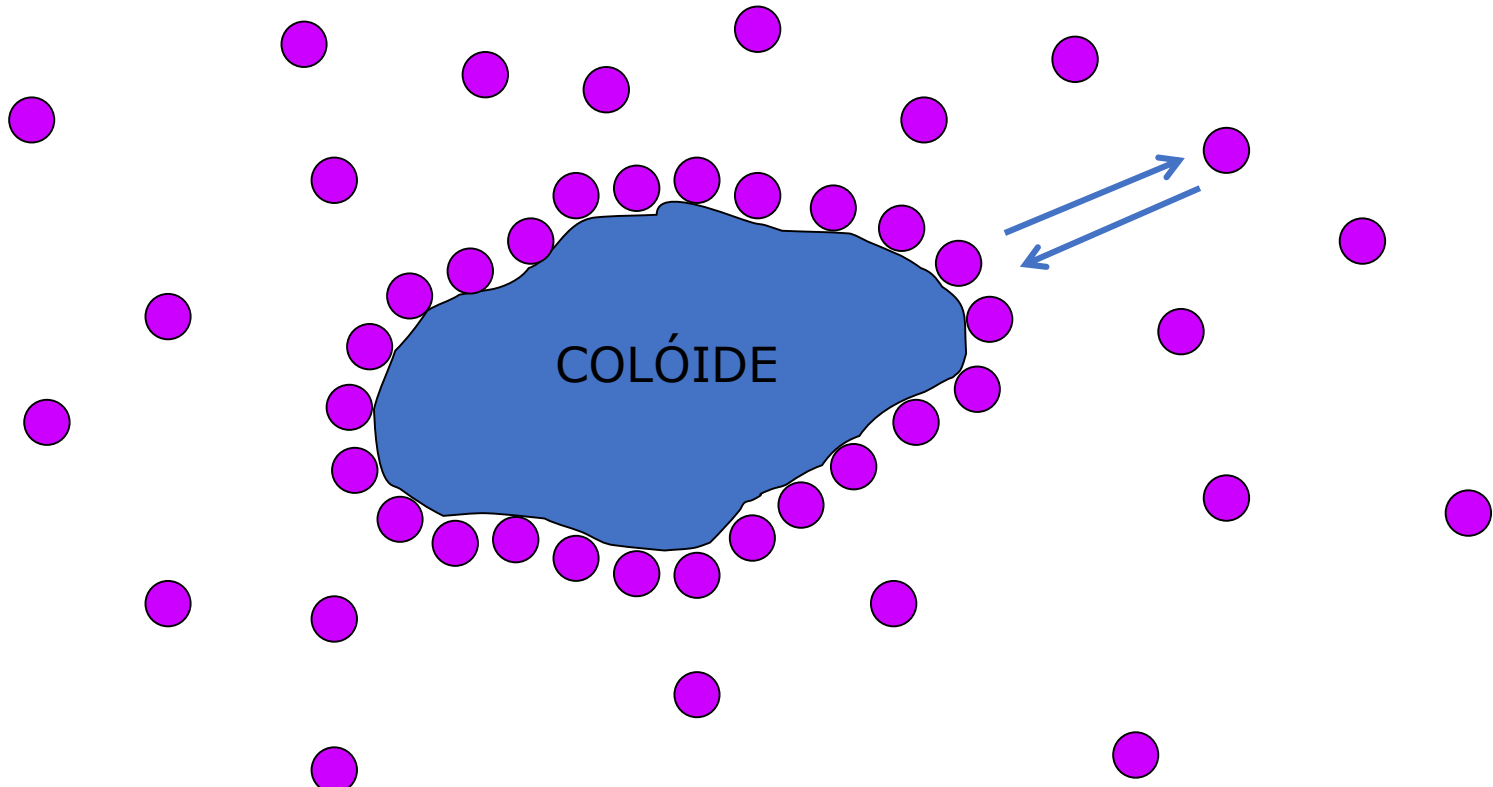
- Ortofosfato primário ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ): **predom. a pH < 7,2**
- Ortofosfato secundário ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ): **predom. a pH > 7,2**

## e) P adsorvido

## 4. Adsorção de P

### a) Definição de adsorção:

é o fenômeno pelo qual íons ou substâncias acumulam-se na superfície de outra substância ou partícula (**colóide**).





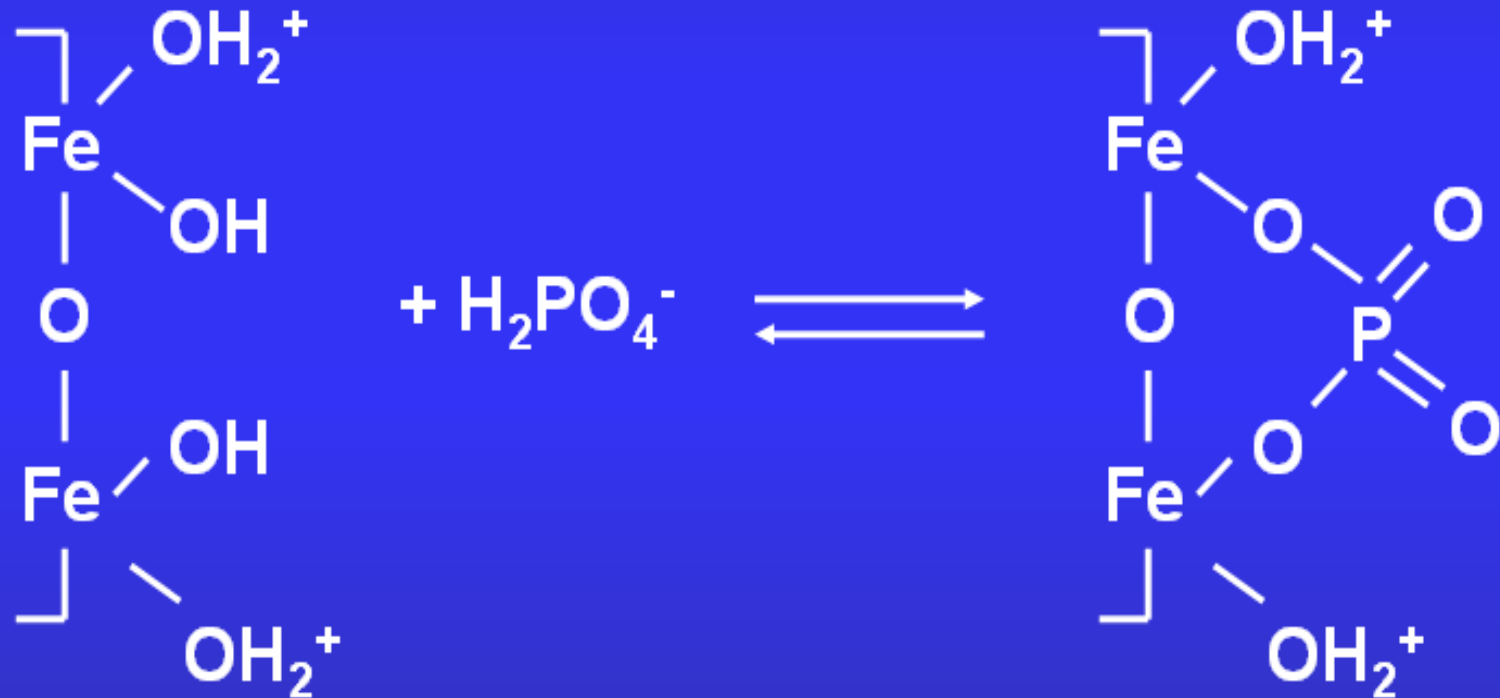
**b) P adsorvido é representado pelas formas  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$  ligadas à superfície dos colóides**

**c) **Maior parte** → adsorção específica:**

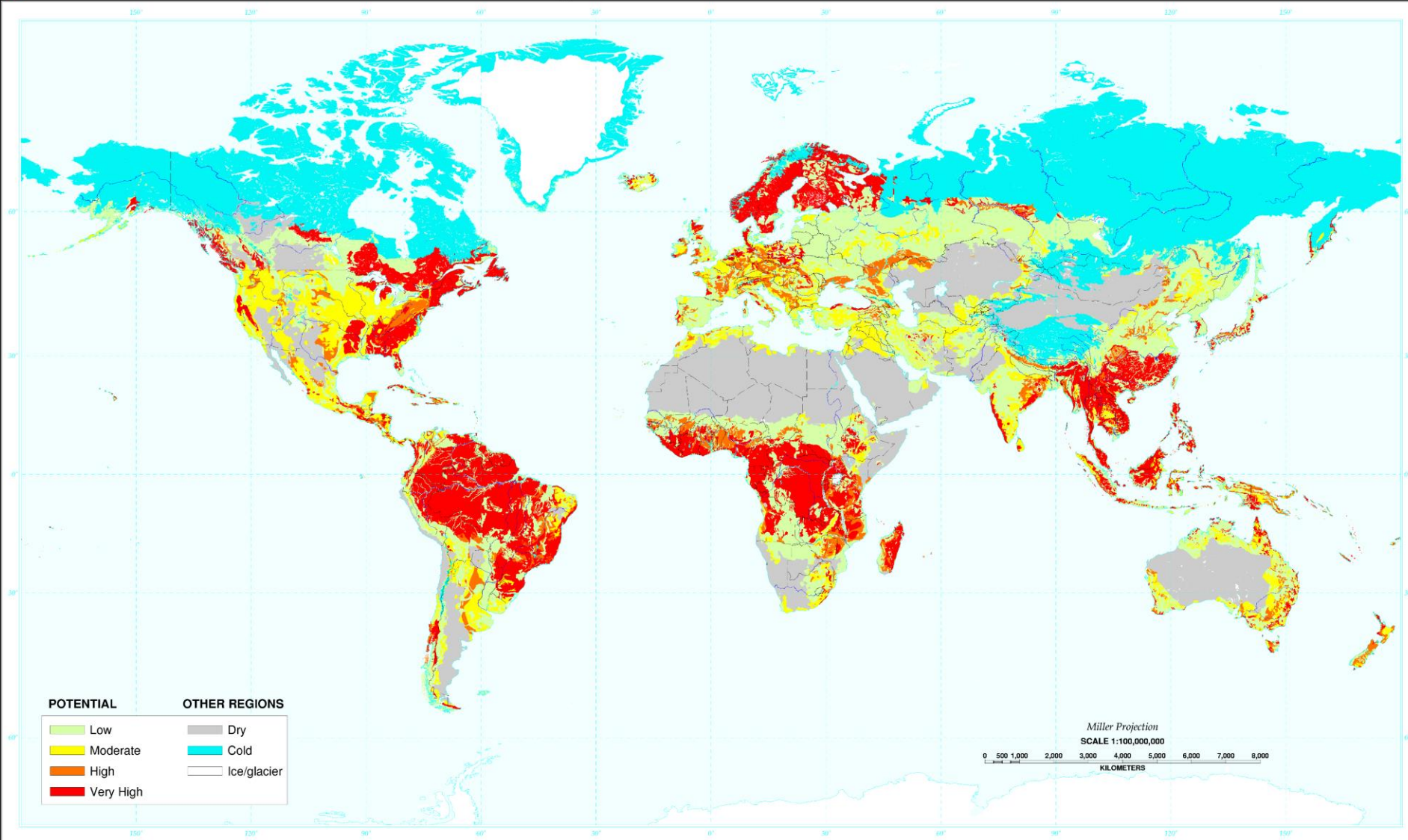
- Ligações são covalentes (fortes)**
- Não depende de cargas elétricas no colóide**
- O íon adsorvido não é trocável**
- Principais colóides envolvidos: óxidos de Fe e de Al**

- Principal = **Fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ )**

ex.: P em óxido de Fe



# Phosphorus Retention Potential



## **d) Fatores que influem na adsorção do P**

### **- Reação do solo (pH)**

*A adsorção aumenta abaixo de pH 6,5 e acima de pH 7,5*

### **- Concentração de P na solução**

*A adsorção aumenta com a concentração de P na solução*

### **- Teor e natureza da argila**

*Maior teor de argila → Maior adsorção*

*Óxidos de Fe e de Al > Minerais de argila*

*Matéria orgânica não adsorve P*

Adsorção máxima de fósforo no solo- estudo com 44 amostras superficiais de solos sob cerrado (médias por textura e por cor) (Lopes, 1983- Solos sob "Cerrado"- Caracter., Propried. e Manejo)

Textura (% Argila)	Cor			Médias por Textura <sup>1/</sup>
	Vermelha Amarela (10YR – 7,5YR)	Vermelha (5YR)	Vermelha Escura (2,5YR – 10R)	
	----- mg P/g solo -----			
< 18	0,572	0,642	0,671	0,629a
18 – 35	1,248	1,138	1,111	1,166 b
35 – 60	1,712	1,696	1,848	1,752 c
> 60	2.206	1.988	2.059	2.084 d
Médias por cor <sup>1/</sup>	1,435a	1,366a	1,422a	

<sup>1/</sup> Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 1%.

## 5. Fixação de P

**Fixação = perda de disponibilidade**

**Fixação = Precipitação + Adsorção**

## 6. Fósforo “disponível”

**Dificuldade de se caracterizar o P disponível do solo**

**-Extratores ácidos:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  diluído, mistura de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e  $\text{HCl}$  diluídos (Mehlich), etc.**

**-Resina de troca aniônica**



## 7. Classificação das formas de P segundo a disponibilidade e equilíbrio entre as formas

### a) P solução

- Íons  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$  que estão na solução do solo  
→ P prontamente disponível

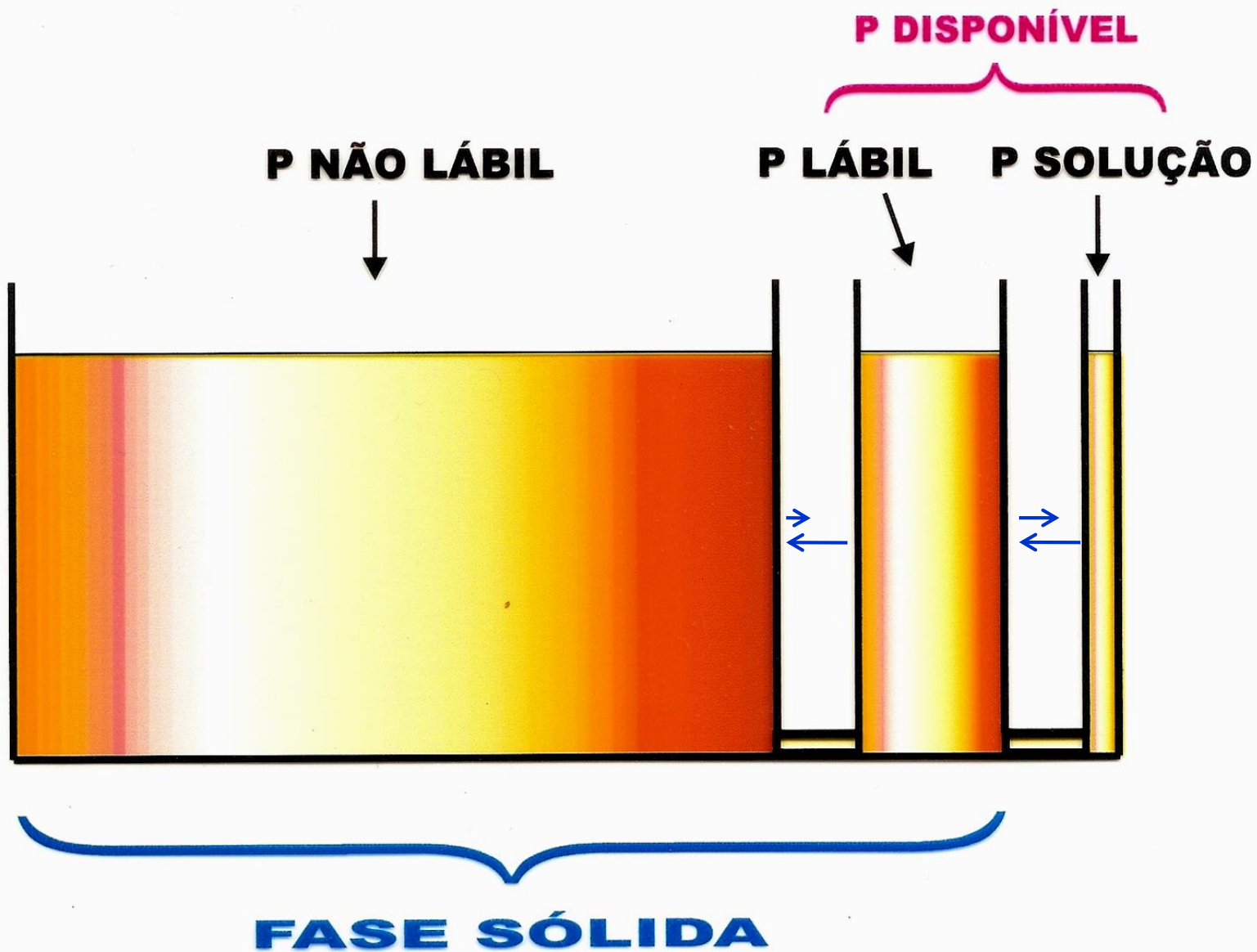
### b) P lábil

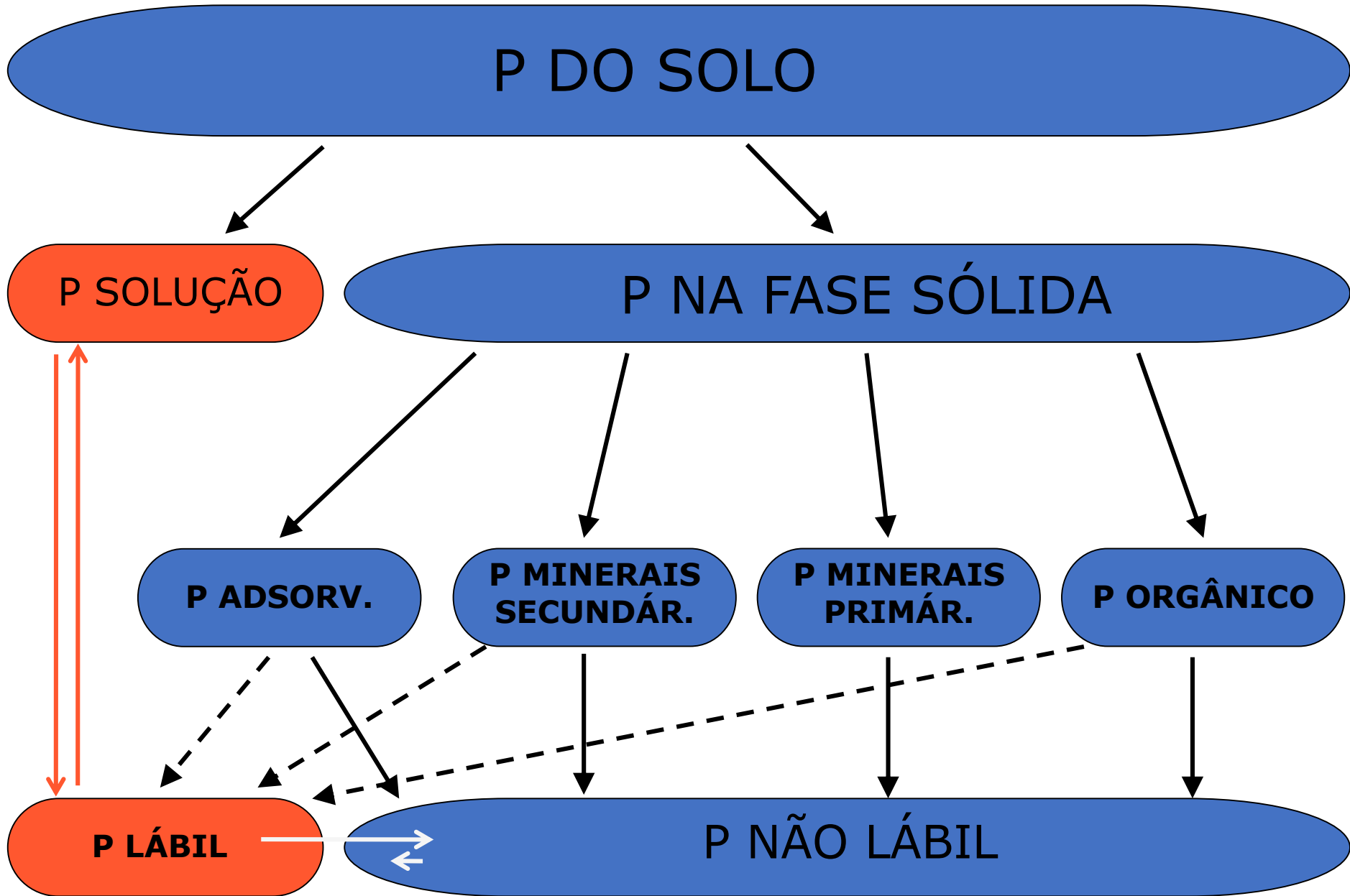
- Está na fase sólida mas pode passar para a solução em curto prazo → P disponível

### c) P não lábil

- Está na fase sólida e pode passar para a solução a longo prazo → P não disponível

# Equilíbrio entre as formas de P do solo





Relações entre as formas de P do solo

## 8. Perdas de P do solo

### a) Produtos agrícolas

Perdas são menores do que as de N e K

Em geral variam entre 5 e 20 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

### b) Erosão

Perdas podem superar as das colheitas

Em geral variam entre 0 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

### c) Lixiviação

Perdas desprezíveis em solos argilosos e muito pequenas em solos arenosos de clima úmido

## 9. Manejo do solo para manutenção do P

- a) Fazer calagem antes da adubação fosfatada
- b) Fazer adubações fosfatadas com frequência
- c) Aplicar fertilizantes orgânicos com frequência
- d) Fazer rotação de culturas com espécies com alta capacidade de extração do P (ex: trigo sarraceno)
- e) Adotar sistema de plantio direto
- f) Utilizar fungos micorrízicos quando possível
- g) Aplicar o fosfato solúvel de forma localizada.
- h) Aplicar dose correta (sem excessos)