

# **Manejo da Adubação Fosfatada em Solos de Cerrado**

**Roberto Ferreira Novais**

(Prof. Emérito UFV)

**Sarah Vieira Novais**

(Doutorando ESALQ/USP)

**Sinop (MT)**

**17-08-2017**

# The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics

Eric D. Roy<sup>1,2\*</sup>, Peter D. Richards<sup>1,3</sup>, Luiz A. Martinelli<sup>4</sup>, Luciana Della Coletta<sup>4</sup>, Silvia Rafaela Machado Lins<sup>4</sup>, Felipe Ferraz Vazquez<sup>5</sup>, Edwin Willig<sup>6</sup>, Stephanie A. Spera<sup>1,6</sup>, Leah K. VanWey<sup>1,7</sup> and Stephen Porder<sup>1,8</sup>

# The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics

*“Here we use farm-, state-, and national level data from Brazil to understand how much inorganic phosphorus fertilizer, derived from finite resources of phosphate rock, has been needed to intensify agriculture on Brazil’s phosphorus-fixing soils”(p.1). Mais adiante, na linha de pensamento que a produção agrícola nos trópicos pode ter um custo insustentável ao Planeta, os autores desse artigo acrescentam: “Relying on high-input, intensive tropical agriculture to support global food supply carries long-term risks. The Earth’s upper crust has limited stocks of high-quality phosphate rock and the possible fuels used along the fertilizer supply chain” (p.5).*

# Adsorção/Fixação de Fósforo no Solo

Tabela 1 - Fósforo-remanescente (P-rem) como variável da aplicação de doses crescentes de P, em amostras de duas camadas de um Latossolos submetidas a diferentes tempos de incubação.

Camada	Dose de P (mg dm <sup>-3</sup> )											
	0				250				2250			
	Tempo de incubação (dia)											
	0	30	60	90	0	30	60	90	0	30	60	90
Cm	----- P-rem (mg L <sup>-1</sup> ) -----											
0-20 <sup>(1)</sup>	11,2	10,9	11,0	11,1	12,8	12,0	12,3	11,3	44,0	37,4	34,2	32,2
20-40 <sup>(2)</sup>	5,7	5,4	5,9	5,2	11,3	9,5	7,2	7,6	37,3	31,0	28,1	26,0

Fonte: Castro (dados não publicados): <sup>(1)</sup>69,1 g kg<sup>-1</sup> de MO e 0,558 kg kg<sup>-1</sup> de argila; <sup>(2)</sup> 4,22 dag kg<sup>-1</sup> de MO e 0,569 kg kg<sup>-1</sup> de argila.



Solos T<sub>3</sub> - 150 mg dm<sup>-3</sup> de P

3,45 t/ha SS

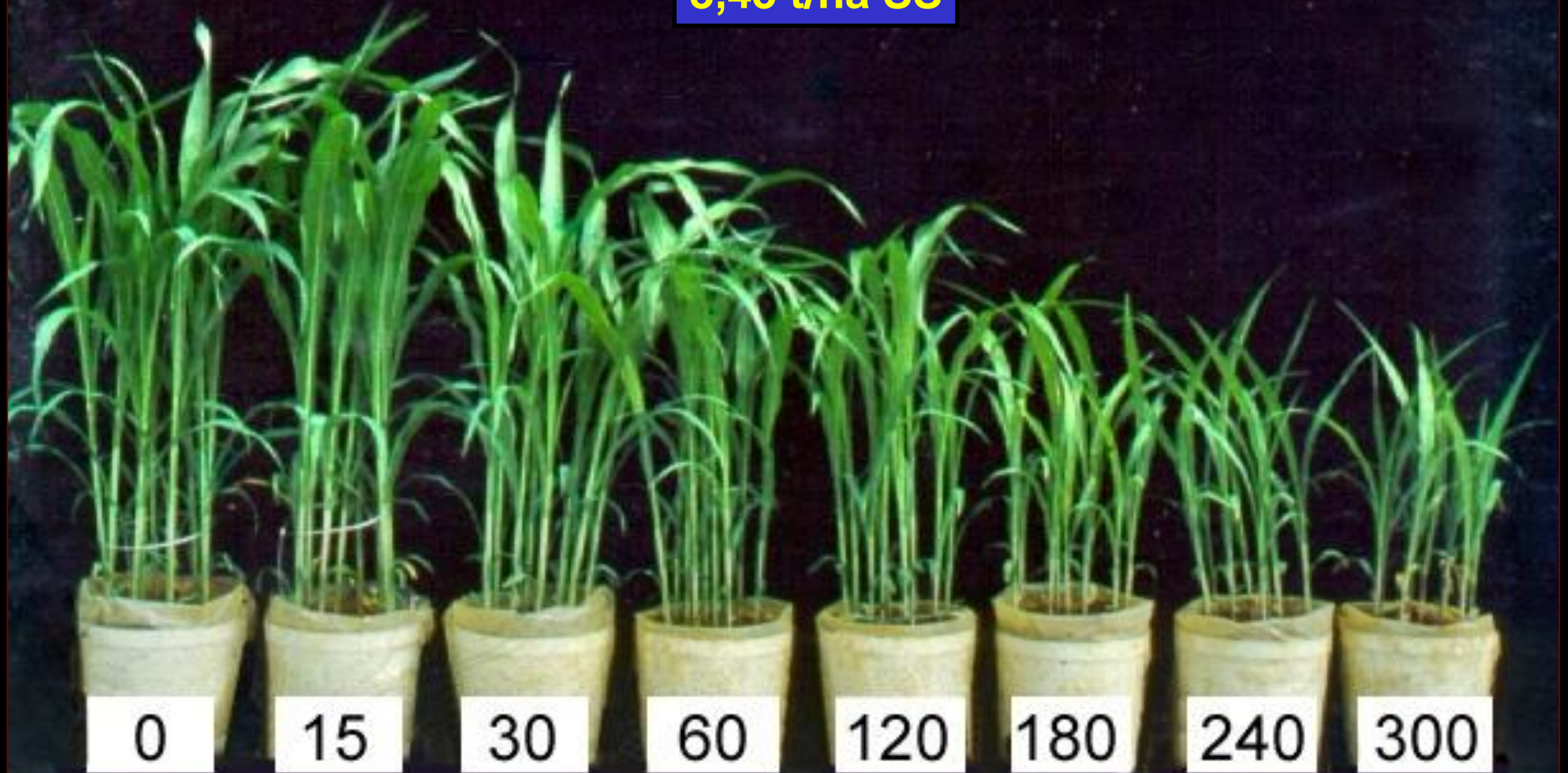


Tabela 2 – Fósforo recuperados pela Resina e produção matéria seca da parte aérea de plantas de sorgo, com diferentes tempos de incubação<sup>(1)</sup> de doses de fósforo aplicadas em um Latossolo Vermelho-Escuro.

Dose de P	Tempo de incubação (dia)			
	0	15	30	300
mg kg <sup>-1</sup>	Resina (mg kg <sup>-1</sup> )			
0	5,70	5,20	4,20	0,90
50	27,00	5,60	7,50	0,90
150	44,30	21,10	18,60	2,90
450	155,40	54,70	50,10	33,00
	Matéria seca (g/vaso)			
0	0,67	0,63	0,87	0,64
50	1,56	1,02	0,89	0,48
150	9,10	4,59	4,53	1,99
450	13,44	9,59	11,85	8,36

Fonte: Gonçalves et al. (1989).

<sup>(1)</sup>Não são apresentados os resultados correspondentes aos tempos de 60, 120, 180 e 240 dias, constantes do trabalho original.

# Reversibilidade do Fósforo Não-Lábil

Tabela 3 - Fósforo remanescente de amostras dos solos sem redução (N) e submetidas a redução microbiana com sacarose (RM), com oxalato de amônio (OX) e com citrato-ditionito-bicarbonato de sódio (CDB) em amostras de 11 solos de Cerrado.

Solo	N	RM	OX	CDB
	----- mg L <sup>-1</sup> -----			
CV-Rqo	37,1	49,8	57,9	60,0
CV-LVd	21,1	41,0	54,4	59,4
TM-LVw	38,1	52,7	56,7	60,0
TM-LVd	29,9	45,8	49,8	58,4
ARA-Ladx	29,9	45,8	55,8	60,0
AÇA-Lad	46,1	51,2	60,0	60,0
UBE-LVAd1	3,4	33,0	24,2	47,0
UBE-LVAd2	4,8	33,9	26,4	44,5
PAR-LVd	4,6	34,9	18,9	47,0
SL-LVd	3,2	31,2	39,9	35,8
PAT-LVd	1,8	32,1	18,9	27,2
Média	20,0	41,0	42,1	50,8

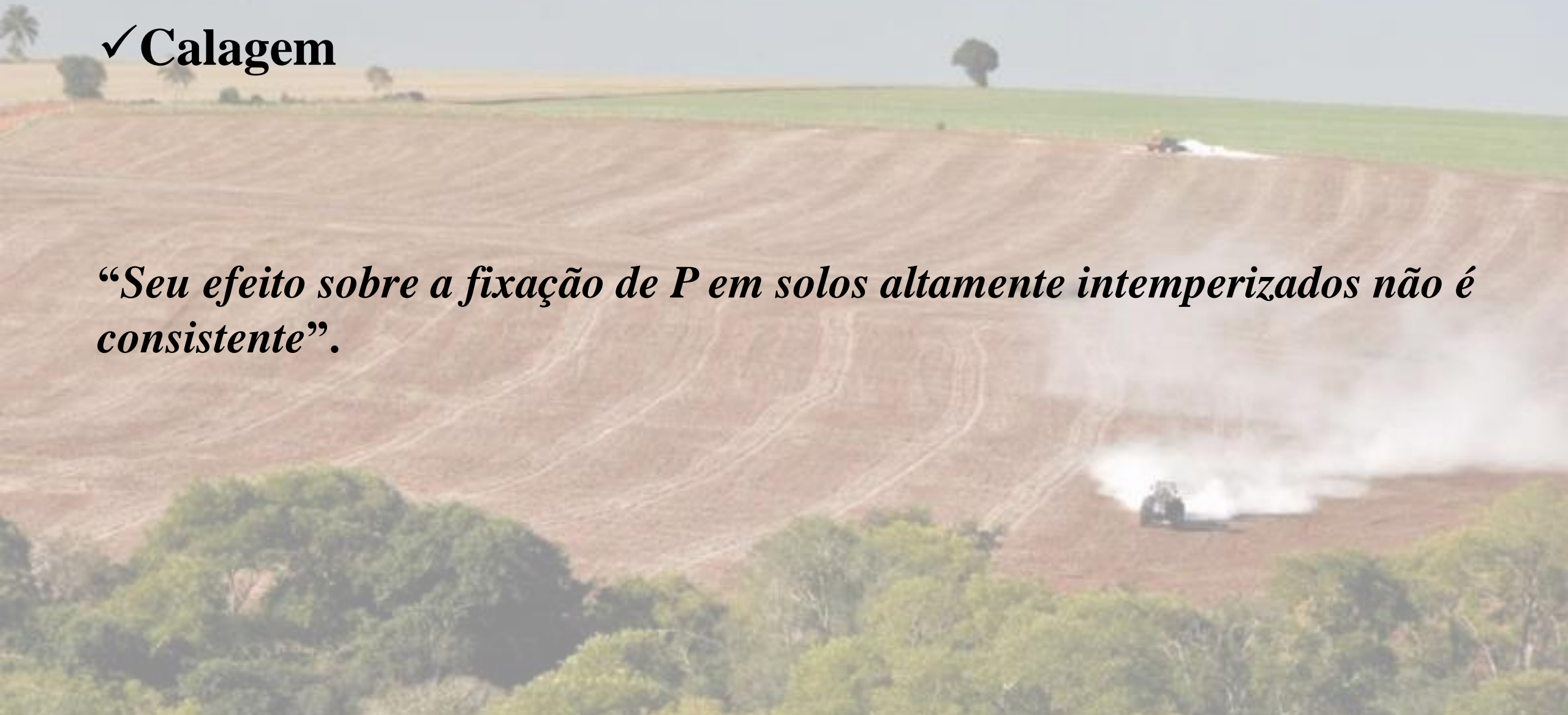
Fonte: Fernández R. et al. (2008).



# Atributos Químicos que Interferem na Disponibilidade de Fósforo

## ✓ Calagem

*“Seu efeito sobre a fixação de P em solos altamente intemperizados não é consistente”.*





# Atributos Químicos que Interferem na Disponibilidade de Fósforo

## ✓ Calagem

Tabela 4 - Efeito da aplicação prévia de doses de P, de calagem e de silicato sobre capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) e “energia de ligação” de um Latossolo Vermelho-Escuro de Cerrado

Tratamento <sup>(1)</sup>	Dose de fósforo (mg kg <sup>-1</sup> )							
	0	380	460	540	0	380	460	540
	CMAP				"Energia de ligação"			
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----				----- L mg <sup>-1</sup> -----			
Testemunha	1,64	1,55	1,53	1,49	0,85	0,49	0,41	0,38
Calcário	1,64	1,51	1,50	1,48	0,67	0,39	0,31	0,28
Silicato	1,61	1,52	1,47	1,46	0,63	0,37	0,29	0,26
Calcário + Silicato	1,63	1,52	1,50	1,49	0,59	0,34	0,32	0,25

Fonte: Smyth (1976); Smyth & Sanches (1980).

<sup>(1)</sup>As doses de calcário e de silicato corresponderam a 1,0 cmol<sub>c</sub> Ca<sup>2+</sup>/1,0 cmol<sub>c</sub> Al<sup>3+</sup>.

# Atributos Químicos que Interferem na Disponibilidade de Fósforo

## ✓ Calagem

Tabela 5 - Quantidade de P adsorvido em amostras de solos que receberam, inicialmente, 50 mg kg<sup>-1</sup> de P<sub>i</sub> na ausência ou presença de calcário, em diferentes tempos de equilíbrio.

Solo	Tempo de equilíbrio (hora)									MÉDIA
	0,5	1	2	4	8	12	24	48	192	
----- mg kg <sup>-1</sup> de P no solo -----										
Sem calagem										
AQ	10,4	14,4	15,6	17,2	22,0	28,4	30,4	33,3	34,0	22,9
LE-1	44,6	46,9	48,0	49,5	49,4	49,5	49,5	49,4	49,8	48,5
LE-2	45,4	47,1	48,3	48,6	49,4	49,7	49,7	49,8	49,8	48,6
LVm-1	25,6	26,9	32,6	33,3	37,6	42,6	45,4	45,8	46,0	37,3
LVm-2	24,5	25,5	29,3	31,5	34,7	40,4	43,1	43,1	43,3	35,0
Com calagem										
AQ	12,9	15,9	16,3	19,2	26,4	29,2	32,1	35,2	36,0	24,8
LE-1	42,7	45,1	47,1	47,4	48,9	49,2	49,2	49,4	49,8	47,6
LE-2	43,1	45,8	47,1	47,9	49,0	49,4	49,6	49,7	49,8	47,9
LVm-1	23,9	26,0	30,2	30,7	35,8	40,9	43,0	44,7	44,7	35,5
LVm-2	22,5	22,5	27,9	27,9	33,2	38,9	40,6	41,7	42,4	33,1

Fonte: Gonçalves et al. (1985).

# **Atributos Químicos que Interferem na Disponibilidade de Fósforo**

## **✓ Matéria Orgânica**

**“A presença de material orgânico lábil no solo, advindo da adição de resíduos ou da utilização de um manejo conservacionista do solo, que causam aumento do teor de MOS, diminui a fixação de P” ou “O aumento do teor de MOS faz com que a adsorção/fixação de P decresça, mas não do P anteriormente fixado (não-lábil)”**



# **Atributos Físicos que Interferem na Disponibilidade de Fósforo**

## **✓ Textura**

**“O aumento do teor de argila de um solo, com alto poder de fixação de P, causa aumento significativo da dose deste nutriente para o crescimento e desenvolvimento ótimo das plantas” ou “Em condições tropicais, solos arenosos ou texturas médias exigem menores doses de P para o crescimento e desenvolvimento ótimos das plantas”.**



# Atributos Físicos que Interferem na Disponibilidade de Fósforo

## ✓ Textura

Tabela 6 - Matéria seca da parte aérea de mudas de eucalipto, em resposta à aplicação de doses de fósforo, na forma de superfosfato triplo, em amostras de solos com diferentes teores de argila.

Dose	Solo <sup>(1)</sup>		
	AQ	LVAm	LVEar
mg dm <sup>-3</sup> de PP	-----	g/vaso -----	-----
0	0,26	0,02	0,04
100	15,21	15,98	2,34
200	18,87	15,65	5,23
400	18,68	17,49	12,84

Fonte: Novais et al. (1995).

<sup>(1)</sup>AQ: Areia Quartzosa, com 14,1 % de argila, pH (H<sub>2</sub>O) = 5,2; LVAm: Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, 17,6 % de argila, pH = 5,6; LVEar: Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, 74,7 % de argila, pH = 5,3.

# Atributos Físicos que Interferem na Disponibilidade de Fósforo

## ✓ Textura

Tabela 6 - Matéria seca da parte aérea de mudas de eucalipto, em resposta à

aplicação	am	to triplo, em
Dose		LVEar
mg dm <sup>-3</sup> de		-----
0		0,04
100		2,34
200		5,23
400		12,84

Fonte: Nov

(1)AQ: Arei

Latossolo V

LVEar: Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, 74,7 % de argila, pH = 5,3.

**O maior PTF dos solos argilosos que resiste a perdas de nutrientes resiste, igualmente, a ganhos. Nos solos mais arenosos, a não-resistência (não-resiliência) a perdas provoca, igualmente, não-resistência a ganhos, mantendo os nutrientes mais disponíveis para as plantas (caso particular do P).**

2; LVAm:

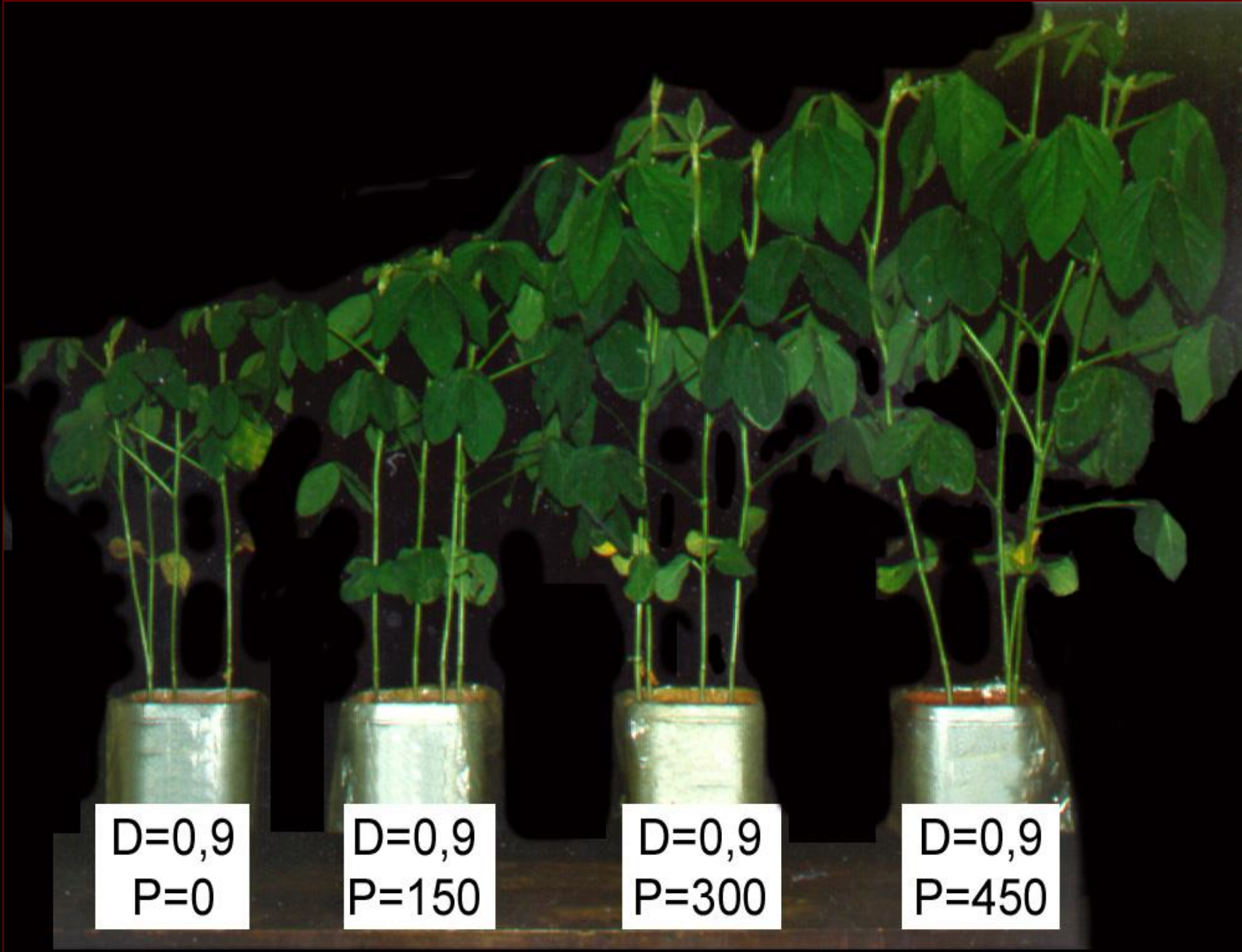
pH = 5,6;

## ✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

### ✓ Compactação do solo

*“A compactação de solos altamente intemperizados, propriedade com alta resiliência, causa um requerimento crescente de P para a manutenção das produtividades anteriormente obtidas na condição de não-compactação”.*





D=0,9  
P=0

D=0,9  
P=150

D=0,9  
P=300

D=0,9  
P=450





D=1,3  
P=0

D=1,3  
P=150

D=1,3  
P=300

D=1,3  
P=450

# SETE LAGOAS

## P 100





# SETE LAGOAS

## P 400



# SETE LAGOAS

## P 800





# CIMETAL P 75



# CIMETAL P 600



# ✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

## ✓ Compactação do solo

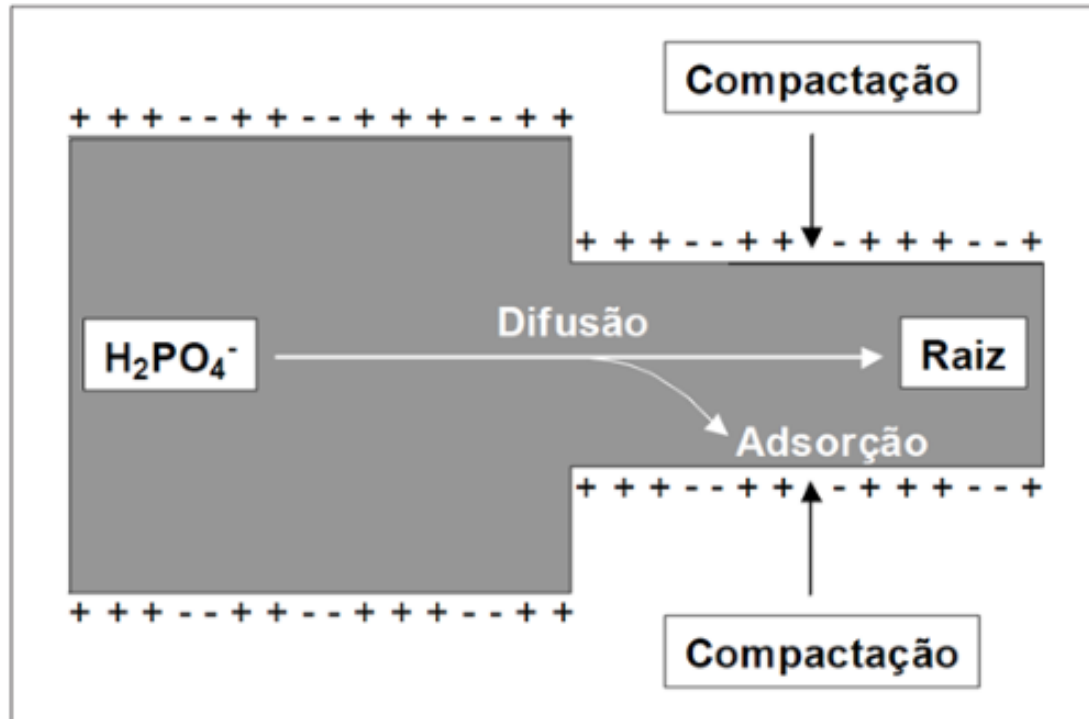


Figura 4 - Efeito da compactação de uma amostra de um solo altamente intemperizado (com predomínio de cargas positivas) sobre o fluxo difusivo de fósforo no solo.

Fonte: Novais e Smyth (1999).



# ✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

## ✓ Compactação do solo

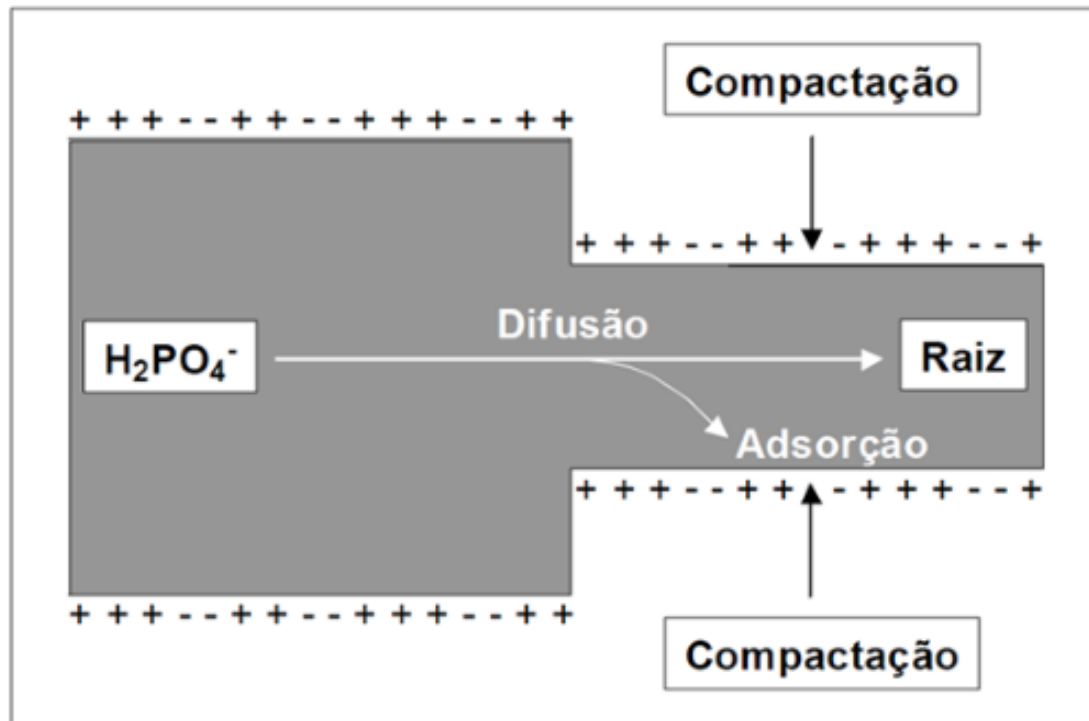


Figura 4 - Efeito da compactação de uma amostra de um solo altamente intemperizado (com predomínio de cargas positivas) sobre o fluxo difusivo de fósforo no solo.

Fonte: Novais e Smyth (1999).

**Um solo “cansado”, como frequentemente denominado pelos fazendeiros, que se torna menos responsivo à aplicação de fertilizantes, particularmente de P, deve ter como característica principal a queda drástica do fluxo difusivo desse nutriente, que, embora presente em teores adequados no solo, não chega satisfatoriamente às raízes.**

## ✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

### ✓ Teor de água (umidade) no solo

*“A disponibilidade de água em solos altamente intemperizados é mais crítica à difusão de P do que em solos com baixa fixação de P” ou “Economiza-se com aplicação de fósforo em solos tropicais mantendo-se um suprimento de água elevado sem déficits hídricos”.*

# ✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

## ✓ Teor de água (umidade) no solo

Tabela 7 - Efeito do conteúdo volumétrico de água do solo e de doses de fósforo sobre a translocação deste nutriente no exsudato xilemático e sobre o crescimento da área foliar de plantas de soja

Dose de P	Potencial matricial	Exsudato xilemático	Área foliar
mg kg <sup>-1</sup>	Mpa	µg h <sup>-1</sup> P	cm <sup>2</sup>
0	-0,01	0,059	165,8
	-0,04	0,033	150,3
	-0,3	0,012	109,5
240	-0,01	5,999	525,3
	-0,04	0,065	154,8
	-0,3	0,039	160,5

Fonte: Ruiz et al. (1988).



# ✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

## ✓ Teor de água (umidade) no solo

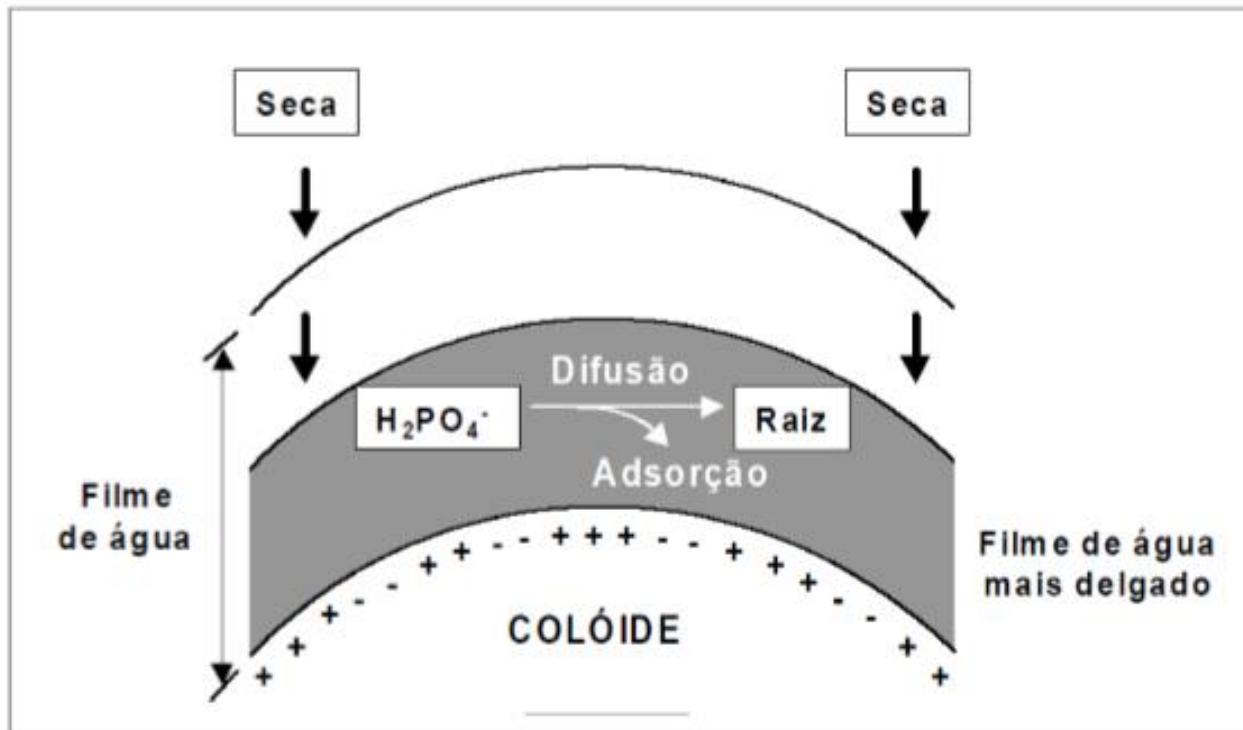


Figura 3 - Efeito do teor de água em solo altamente intemperizado (com predominância de cargas positivas) sobre o fluxo difusivo de fósforo no solo.

Fonte: Novais e Smyth (1999).

# ✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

## ✓ Teor de água (umidade) no solo

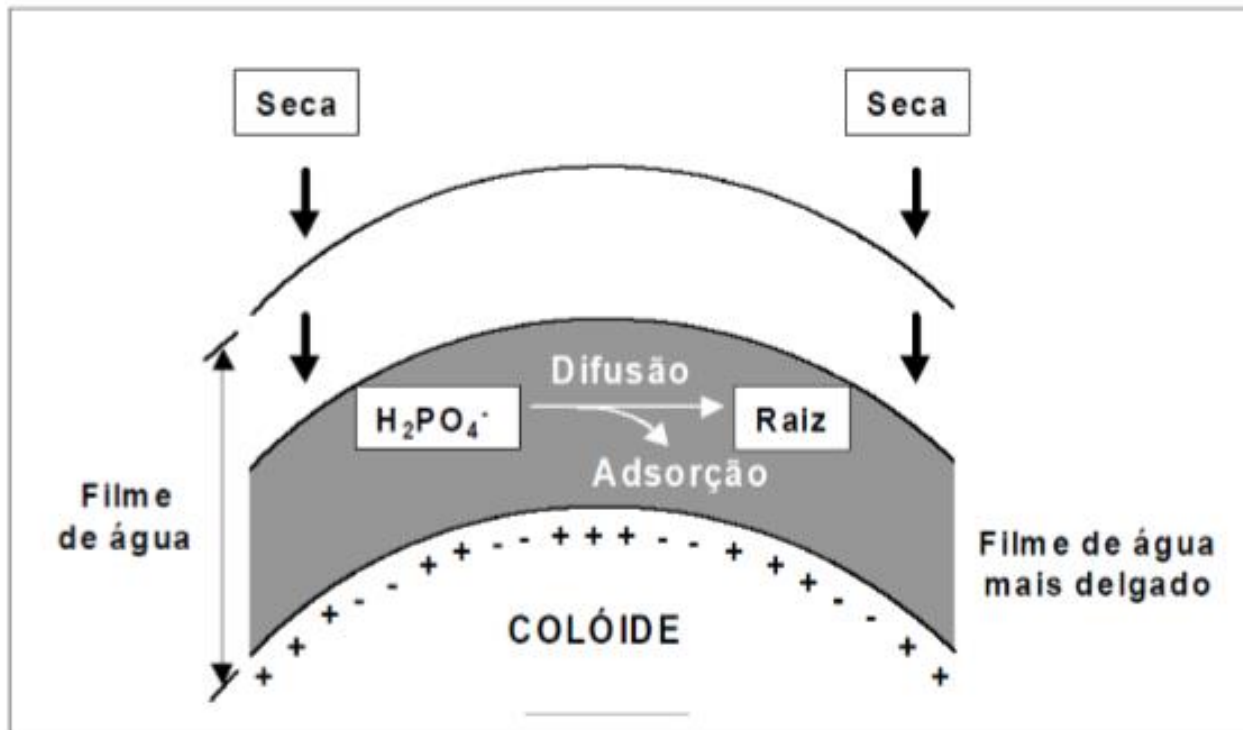


Figura 3 - Efeito do teor de água em solo altamente intemperizado (com predomínio de cargas positivas) sobre o fluxo difusivo de fósforo no solo.

Fonte: Novais e Smyth (1999).

**Essa grande dependência do fluxo difusivo a um elevado conteúdo volumétrico de água nos solos altamente intemperizados de cerrado e a menor dependência de solos bem menos intemperizados do semi-árido do nordeste brasileiro, estimulam-nos a especular que a falta de água poderá ser mais crítica ao crescimento de plantas nos locais em que tradicionalmente é mais abundante (Cerrados) do que onde é mais escassa (semi-árido).**

## ✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

### ✓ Fonte de Fósforo

*“A difusão de P na forma de fosfato mono-amônico (MAP) num solo com alto poder de adsorção/fixação de P (alta CMAP) é bem maior que na forma de supersimples ou triplo, levando a uma economia na dose de P com sua aplicação na forma de MAP. Para solos pouco intemperizados ou arenosos mesmo em condições tropicais essa diferença tende a não existir”*



# ✓ Alterações no Fluxo Difusivo de Fósforo no Solo

## ✓ Fonte de Fósforo

Tabela 8 - Efeito de fontes de fósforo sobre o fluxo difusivo desse elemento em amostras de solos com diferentes teores de argila<sup>(1)</sup>

Fonte de P	Solo		
	LE	LA	LVm
	$\mu\text{mol cm}^{-2}/25 \text{ dias}$		
Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O	0,04778	0,10019	0,67087
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,1078	0,15108	0,80608
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,12742	0,38247	0,73017
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,1629	0,4491	0,75263
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,12692	0,37239	0,74177
Testemunha	0,0004	0,00024	0,00016

Fonte: Villani et al. (1993a).

<sup>(1)</sup>Teores de argila: LE=68%, LA=74% e LVm=18%.

# **Localização da Fonte de Fósforo para o Cultivo de Plantas em Solos com Alto Poder de Fixação de Fósforo**

*“Para a mesma produtividade, a aplicação de uma dose localizada de P em um solo com alto poder de fixação de P é bem menor àquela requerida para a fosfatagem” ou “Em condições tropicais, economiza-se fertilizante fosfatado aplicando-o localizadamente em substituição à fosfatagem”.*



# Localização da Fonte de Fósforo para o Cultivo de Plantas em Solos com Alto Poder de Fixação de Fósforo

Tabela 9 - Produtividade de soja (três safras), em resposta ao modo de aplicação do fertilizante no sistema plantio direto, Sapezal, MT

Aplicação <sup>(1)</sup>		Média
A lanço	Sulco	
----- % -----		saca ha <sup>-1</sup>
0	100	60,5
25	75	59,2
50	50	57,8
75	25	54,8
100	0	50,5
Sem adubo		38,4

<sup>(1)</sup>Adubação com 400 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 4-23-23 + Ca = 4,5 %; S = 2,5 %; Zn = 0,3 %; B = 0,2 % e Cu = 0,15 %.

Fonte: Fundação MT (Resultados não publicados).



# Localização da Fonte de Fósforo para o Cultivo de Plantas em Solos com Alto Poder de Fixação de Fósforo

Tabela 9 - Produtividade de soja (três safras), em resposta ao modo de aplicação do fertilizante no sistema plantio direto, Sapezal, MT

Aplicação <sup>(1)</sup>		Média
A lanço	Sulco	
----- % -----		saca ha <sup>-1</sup>
0	100	60,5
25	75	59,2
50	50	57,8
75	25	54,8
100	0	50,5
Sem adubo		38,4

<sup>(1)</sup>Adubação com 400 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 4-23-23 + Ca = 4,5 %; S = 2,5 %; Zn = 0,3 %; B = 0,2 % e Cu = 0,15 %.

Fonte: Fundação MT (Resultados não publicados).

**Há uma esperada relação inversa entre a dose de P aplicada e o volume de solo que a recebe, como variáveis responsáveis pela quantidade de P absorvido e pelo crescimento de uma planta.**

# Localização da Fonte de Fósforo para o Cultivo de Plantas em Solos com Alto Poder de Fixação de Fósforo

Tabela 10 - Produtividade de soja (três safras), como variável de dose, da fonte de fósforo, da forma de aplicação (solo com 600 g kg<sup>-1</sup> de argila), em Sapezal, MT.

Fósforo na linha	Fosfato aplicado a lanço antes da semeadura e Incorporado apenas no primeiro plantio (kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )						
	Super triplo				Fosfato natural reativo		
	0	80	160	240	80	160	240
kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Produtividade de soja (sc ha <sup>-1</sup> )						
0	6,8	18,9	31,2	39,3	20,0	28,9	37,5
37	27,1	37,1	46,1	51,5	38,1	45,0	49,2
79	45,6	51,6	57,3	61,9	51,9	55,3	59,6
115	56,3	58,7	62,4	65,0	69,5	62,3	63,8
146	60,8	62,5	64,7	65,7	64,1	63,5	66,3

Fonte: Fundação MT (2005).

# Localização da Fonte de Fósforo para o Cultivo de Plantas em Solos com Alto Poder de Fixação de Fósforo

Tabela 12 - Resposta da cultura da batata à aplicação de fósforo a lanço (L) e no sulco (S) de plantio em solo de Cerrado (2012/2013)

Tratamento	Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )
Sem P	230 b
1500 kg ha <sup>-1</sup> de 08-30-08 (L)	322 b
1500 kg ha <sup>-1</sup> de 08-30-08 (S)	490 a
2000 kg ha <sup>-1</sup> de 08-30-08 (L)	334 b
2000 kg ha <sup>-1</sup> de 08-30-08 (S)	554 a
1500 kg ha <sup>-1</sup> de 08-30-08 (L) + 1200 kg ha <sup>-1</sup> de SS (L)	349 b
1500 kg ha <sup>-1</sup> de 08-30-08 (S) + 1200 kg ha <sup>-1</sup> de SS (L)	502 a
1500 kg ha <sup>-1</sup> de 08-30-08 (S) + 1200 kg ha <sup>-1</sup> de SS (S)	565 a
1500 kg ha <sup>-1</sup> de 08-30-08 (S) + 600 kg ha <sup>-1</sup> de SS (S)	541 a
1500 kg ha <sup>-1</sup> de 08-30-08 (S) + 300 kg ha <sup>-1</sup> de SS (S)	523 a

Cultura anterior: Milho silagem. P-Melich-1 = 25 mg dm<sup>-3</sup>; P-rem = 17 mg L<sup>-1</sup>

Fonte: Prof. Leonardo Aquino. UFV *Campus* Rio Paranaíba (dados não publicados).



# Localização da Fonte de Fósforo para o Cultivo de Plantas em Solos com Alto Poder de Fixação de Fósforo

Tabela 13 - Produção de biomassa e recuperação de fósforo por *Eucalyptus camaldulensis* (9,7 anos) influenciados por fontes, doses e modo de aplicação do fertilizante fosfatado

Fosfato natural	Fonte solúvel	Modo de aplicação	Biomassa aérea	P recuperado
kg ha <sup>-1</sup> de P			t ha <sup>-1</sup>	%
0	0		63	-
172	0	Faixa	81	8,0
172	0	Sulco	114	16,6
41	23	Faixa/Sulco	99	9,8
41	23	Sulco/cova	148	35,6

# Fósforo na Planta Cultivada em Solos Altamente Intemperizados

*“O nível crítico de P em plantas cultivadas em solos com alta fixação deste nutriente é significativamente menor que aquele encontrado em plantas cultivadas em solos com baixa fixação”.*

# Fósforo na Planta Cultivada em Solos Altamente Intemperizados

Tabela 14 - Coeficiente de correlação linear simples entre características do solo relacionadas com o poder tampão de fosfato e o nível crítico de P total na parte aérea de plantas de espécies olerícolas cultivadas em diferentes solos

Características do solo	Tomate	Batata-Baroa	Pepino	Alface
CMAP <sup>(1)</sup>	-0,80 *	-0,93 **	-0,97 **	-0,91 *
P-remanescente-50 <sup>(2)</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	0,87 *	0,97 **	0,96 **

Fonte: Novais et al. (1993).

<sup>(1)</sup>Fabres et al. (1987). <sup>(2)</sup> Capacidade máxima de adsorção de P, pela equação de Langmuir, em mg g<sup>-1</sup> de P no solo. <sup>(2)</sup> P em equilíbrio depois de agitar 50 mg L<sup>-1</sup> de P em solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, por uma hora, em uma relação solo:solução de 1:10, com as amostras de solo.

<sup>ns</sup>, \* e \*\* não-significativo e significativos a 5 e 1%, respectivamente.



## Reuso (Reciclagem) de Fósforo

*“O uso ou reciclagem do fósforo de águas eutrofizadas, residuárias ou mesmo do mar, deverá tornar-se uma fonte adicional de fósforo para cultivos no mundo agrícola.”*

# Reuso (Reciclagem) de Fósforo

- ✓ Hidróxidos duplos lamelares (HDL)
- ✓ Biochars





**OBRIGADO**

**rfnovais@ufv.br**  
**sarahnovais@usp.br**