

# FÓSFORO E ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA EM PLANTAS DE FEIJOEIRO<sup>1</sup>

LUIZ ARNALDO FERNANDES<sup>2</sup>, ANTONIO EDUARDO FURTINI NETO<sup>3</sup>,  
NILTON CURTI, GERALDO APARECIDO AQUINO GUEDES e JOSÉ MARIA DE LIMA<sup>4</sup>

**RESUMO** - O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da classe de solo, das condições de uso e das práticas culturais de correção da fertilidade do solo na produção de matéria seca, acúmulo de fósforo, frações de fósforo e atividade da fosfatase ácida *in vivo* em plantas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). O estudo foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, com dois solos (Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada), sob três condições de uso e sob quatro práticas culturais de correção da fertilidade do solo. A maior produção de matéria seca e eficiência de utilização de fósforo ocorreram nas plantas cultivadas no Latossolo Roxo, que também proporcionou menor acúmulo de fósforo inorgânico nos tecidos foliares. A atividade da fosfatase ácida *in vivo* não refletiu o estado nutricional das plantas de feijoeiro.

Termos para indexação: *Phaseolus vulgaris*, frações fosfatadas.

## PHOSPHORUS AND ACTIVITY OF ACID PHOSPHATASE IN COMMON BEAN PLANTS

**ABSTRACT** - The objective of this work was to evaluate the influence of the soil class, conditions of use and practices of correction of soil fertility upon dry matter production, phosphorus accumulation, phosphorus fractions and activity of acid phosphatase *in vivo* in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. The study was conducted at greenhouse conditions of the Soil Science Department of the Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brazil, with two soils (Oxisol and Ultisol), under three conditions of use and four practices of correction of soil fertility. The highest dry matter production and P utilization efficiency was observed in plants cultivated in the Oxisol, which provided minor Pi accumulated than in the Ultisol. The activity of acid phosphatase *in vivo* did not reflect the nutritional state of bean plants.

Index terms: *Phaseolus vulgaris*, phosphorus fractions.

## INTRODUÇÃO

Ao se avaliar a concentração total de fósforo em determinada planta, deve-se considerar que o valor encontrado pode estar superestimado, em função da presença de formas de reserva, principalmente de P inorgânico, causada pela maior ou menor disponi-

bilidade do nutriente no solo, determinada pela relação entre os fatores intensidade (I), quantidade (Q), capacidade tampão (Q/I) e difusão de P no solo (Raij, 1991).

A facilidade de absorção do P da solução que está em equilíbrio com a forma lábil, pelas plantas, é negativamente relacionada com a energia de ligação de P e com a capacidade tampão deste elemento no solo (Holford & Mattingly, 1979). Desse modo, em solos com maior capacidade tampão, há uma menor extração de P pelas plantas (Muniz et al., 1985). Portanto, além da exigência metabólica peculiar de cada espécie ou cultivar, a concentração de P na solução do solo próxima às raízes, que é função dos mecanismos que determinam a disponibilidade de P no solo, é capaz de influenciar diretamente a absorção de P e seu acúmulo na parte aérea (Fabres et al., 1987).

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 2 de outubro de 1997.

Extraído da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada à Universidade Federal de Lavras (UFLA).

<sup>2</sup> Eng. Agr., M.Sc., Aluno do curso de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Dep. de Ciência do Solo, UFLA, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras, MG. Bolsista do CNPq. E-mail: larnaldo@ufla.br

<sup>3</sup> Eng. Agr., Dr., Dep. de Ciência do Solo, UFLA. Bolsista do CNPq.

<sup>4</sup> Eng. Agr., Ph.D., Dep. de Ciência do Solo, UFLA.

Para o estabelecimento dos processos metabólicos, é importante que se considere a alocação interna de nutriente e sua utilização no metabolismo e crescimento (Gerloff & Gabelman, 1983). Desta maneira, alterações na absorção de fósforo, em decorrência da maior ou menor capacidade do solo de suprir a planta com o nutriente, levariam a mudanças nas formas de reserva do P na planta. Com maior disponibilidade do nutriente, verifica-se o acúmulo de P na forma inorgânica (Pi), no vacúolo, ou como polifosfatos e ácido fítico pela síntese de compostos de reserva. Esta fração de reserva (Pi) é mais sensível à disponibilidade do elemento no meio do que outras frações fosfatadas na planta (Bielecki, 1973).

Vários trabalhos mostram que a deficiência de P nas plantas leva ao aumento da atividade da fosfatase ácida (Garcia & Ascencio, 1992). Desse modo, tal atividade no tecido vegetal tem sido investigada como resposta da planta à deficiência de P (Ascencio, 1994). Antibus & Lesica (1990) relataram que a atividade da fosfatase ácida correlacionou-se positivamente com o conteúdo de P vascular de epifitas. Silva & Basso (1993) verificaram correlação negativa entre atividade *in vivo* da fosfatase ácida com o crescimento e as quantidades de P acumuladas pela parte aérea e subterrânea de cana-de-açúcar.

O aumento da atividade da fosfatase ácida parece ocorrer em virtude de um incremento na "síntese de novo" da enzima, cuja formação é inibida pelo íon fosfato por um mecanismo de retroinibição (Reid & Bielecki, 1970).

Em estudos de correlação, geralmente se relaciona a quantidade do nutriente disponível por determinado extrator com o conteúdo total do nutriente na planta. No entanto, como o nutriente pode se encontrar sob variadas formas no tecido vegetal, o conteúdo nem sempre reflete o estado nutricional da planta.

O presente trabalho objetivou avaliar a influência da classe de solo, das condições de uso e das práticas culturais de correção da fertilidade do solo na produção de matéria seca, acúmulo de P, frações de P e atividade da fosfatase ácida *in vivo* em plantas de feijoeiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Solos

Amostras de um Latossolo Roxo (LR) e de uma Terra Roxa Estruturada (TR), fase floresta tropical subperenifólia, da região de Lavras, MG, sob mata, pastagem e cultivo, foram coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade.

O LR sob mata apresentava vegetação primária não perturbada; o LR sob pastagem, com *Brachiaria decumbens*, recebeu calcário e adubação com superfosfato simples, apenas por ocasião da instalação da pastagem em 1986; o LR sob cultivo estava sendo cultivado com milho e feijão há vários anos e anualmente foi fertilizado com NPK, tendo sido realizada a última calagem três anos antes da coleta e durante a coleta das amostras de solo encontrava-se sem vegetação.

A TR sob mata apresentava vegetação secundária; a TR sob pastagem estava coberta com capim gordura (*Melinis minutiflora*) e havia recebido calagem dois anos antes da coleta das amostras; a TR sob cultivo (anual de arroz) recebeu adubação com NPK, sendo a última calagem realizada dois anos antes da coleta das amostras de solo, e encontrava-se sem vegetação.

### Características químicas, físicas e mineralógicas dos solos estudados

O material dos solos, após secos ao ar, foram passados em peneira de 2 mm. A caracterização química, física e mineralógica dos solos e as doses de corretivo aplicadas, encontram-se na Tabela 1. Para a determinação da dose de corretivo utilizou-se o método da curva de incubação com  $\text{CaCO}_3:\text{MgCO}_3$  na relação Ca:Mg de 4:1 para elevar o pH dos solos para 6,5. A análise mineralógica qualitativa da fração argila foi realizada em amostras com e sem tratamento com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio através da difração de raios X (método do pó). As análises químicas (pH em água, K, Ca, Mg, Al, H+Al, P e matéria orgânica do solo) e físicas (areia, silte e argila) foram realizadas conforme Embrapa (1979). O fósforo total foi determinado conforme Anderson & Ingram (1992). Os teores de Fe livre ( $\text{Fe}_d$ ) foram obtidos por meio de quatro extrações sucessivas com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) (Mehra & Jackson, 1960). Os teores dos óxidos do ataque sulfúrico foram determinados conforme Vettori (1969), com modificações (Embrapa, 1979). Análise térmica diferencial (ATD) foi realizada na fração argila desferrificada com DCB (duas extrações sucessivas). A capacidade máxima de adsorção de P (CMAF) foi estimada conforme Syers et al. (1973), e o índice tampão de

**TABELA 1. Características químicas, físicas e mineralógicas dos solos (na camada de 0-20 cm de profundidade) e doses de calcário para elevar o pH a 6,5 (média de três repetições).**

Características <sup>1</sup>	Solos e condições de uso					
	LR mata	LR pasto	LR cultivado	TR mata	TR pasto	TR cultivado
pH em água	4,3	5,7	5,6	5,5	5,8	5,8
K (mg/kg)	48	78	77	66	83	83
Ca (cmol/dm <sup>3</sup> )	0,3	2,8	2,3	3,1	3,3	3,1
Mg (cmol/dm <sup>3</sup> )	0,1	0,8	0,6	0,8	0,8	0,7
Al (cmol/dm <sup>3</sup> )	1,1	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1
H+Al (cmol/dm <sup>3</sup> )	12,3	4,3	4,8	6,1	5,1	5,2
P (mg/kg)	2	13	3	3	4	4
S (cmol/dm <sup>3</sup> )	0,5	3,5	3,1	4,1	4,3	4,0
t (cmol/dm <sup>3</sup> )	1,6	3,7	3,4	4,4	4,4	4,1
T (cmol/dm <sup>3</sup> )	12,8	7,8	7,9	10,2	9,4	9,2
m (%)	69	6	9	7	2	2
V (%)	4	45	39	40	46	43
Mat. org. (g/kg)	51	40	35	34	38	31
Areia (g/kg)	320	280	100	360	440	360
Silte (g/kg)	120	200	300	280	260	300
Argila (g/kg)	560	520	600	360	300	340
P-total (mg/kg)	1025	1025	1110	920	910	890
Fe <sub>2</sub> O <sub>3d</sub> (g/kg)	118	115	120	55	48	50
SiO <sub>2</sub> (g/kg) <sup>2</sup>	137,80	-	-	177,70	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/kg) <sup>2</sup>	257,60	-	-	240,50	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/kg) <sup>2</sup>	173,70	-	-	169,30	-	-
TiO <sub>2</sub> (g/kg) <sup>2</sup>	13,20	-	-	10,50	-	-
Ki	0,91	-	-	1,24	-	-
Ct (g/kg)	177	164	190	191	159	181
Gb (g/kg)	194	180	208	64	53	61
Gb/Gb+Ct	0,52	0,52	0,52	0,25	0,25	0,25
CMAF (mg/kg)	2251	1915	2178	1274	1189	983
ITP	3,47	0,83	1,96	0,21	0,20	0,20
Calagem (t/ha)	9,0	1,7	1,8	2,0	1,5	1,4

<sup>1</sup> Fe<sub>2</sub>O<sub>3d</sub> = ferro ditionito; Ct = caulinita; Gb = gibbsita; CMAF = capacidade máxima de adsorção de P; ITP = índice tampão de P.

<sup>2</sup> Óxidos do ataque sulfúrico.

P (ITP) foi determinado à semelhança do estabelecido por Accioly et al. (1985) para o enxofre.

#### Incubação dos solos com calcário e fósforo e cultivo de feijoeiro

Os solos foram incubados em vasos com capacidade de três dm<sup>3</sup>, com e sem as respectivas doses de corretivo, obtendo-se seis vasos com calagem e seis sem calagem para cada solo. A umidade foi mantida em torno de 70% do volume total de poros (Freire et al., 1980), por 15 dias. Após esse período, o material foi seco e peneirado e recebeu aplicação de 250 mg de P/dm<sup>3</sup> de solo, sendo 195 mg/kg na forma de NH<sub>4</sub>HPO<sub>4</sub> e 55 mg/kg na forma de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. Desse modo, obtiveram-se quatro tratamentos de práticas de correção da fertilidade do solo: sem apli-

cação de calcário e fósforo (testemunha); com aplicação de calcário (C); com aplicação de fósforo (P) e com aplicação de calcário e fósforo (C+P). O fornecimento do N foi de 85 mg/kg e o de K, de 67 mg/kg de solo. Aplicou-se ainda uma adubação básica com 40 mg de S, 0,8 mg de B, 1,5 mg de Cu e 5 mg de Zn por kg de solo, na forma de sais p.a. de CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, CuCl<sub>2</sub> e ZnCl<sub>2</sub>, respectivamente. O material de solo foi novamente incubado por 180 dias (8-11-95 a 8-2-96), mantendo-se a umidade em torno de 70% do volume total de poros ocupados por água. Após os 180 dias de incubação, foram semeadas, em cada vaso, quatro sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca-MG). Cinco dias após a emergência, realizou-se um desbaste deixando-se duas plântulas por vaso.

Foi feita uma adubação de cobertura com 40 mg de N e 30 mg de K/kg de solo aos 20 dias após a emergência. Durante o período, a umidade dos solos foi mantida a 70% do volume total de poros (VTP), de acordo com Freire et al. (1980), aferida mediante pesagens diárias dos vasos, repondo-se a água evapotranspirada com água desmineralizada.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, arranjado num esquema fatorial 2x3x4 (2 solos: LR e TR; 3 condições de uso: mata, pastagem e cultivo e 4 práticas de correção da fertilidade do solo: testemunha, calagem, fósforo e calagem + fósforo), com três repetições.

### Avaliação do experimento

As plantas foram colhidas aos 30 dias após a emergência, quando separou-se de cada planta um folíolo do último trifólio fisiologicamente maduro para o estudo do fracionamento do fósforo e da atividade da fosfatase ácida *in vivo* no tecido foliar. Cerca de 0,5 g das amostras foram colocadas em ácido perclórico 0,2 N e armazenadas em freezer para posteriormente serem analisados os teores de fósforo inorgânico solúvel em ácido (Pi), fósforo total solúvel (Pts) e, por diferença, fósforo orgânico (Po), conforme método de Smille & Krotkov (1960) e Hogue et al. (1970), modificado por Martinez (1992). No tecido fresco coletado a atividade da fosfatase ácida foi imediatamente quantificada de acordo com Silva & Basso (1993) utilizando-se tampão a pH 5,0 (Ascencio, 1994).

As partes restantes das plantas foram separadas em parte aérea e sistema radicular, secas em estufa (65-70°C), pesadas e moídas para análise química de fósforo no extrato obtido pela digestão nitroperclórica.

A eficiência de utilização do fósforo foi calculada pelo índice proposto por Siddiqi & Glass (1981) definido pela expressão

$$E = W/C, \text{ onde } C = Q/W$$

sendo

E = eficiência de utilização;

W = matéria seca da parte aérea,

C = concentração do nutriente no tecido e

Q = quantidade do nutriente na biomassa.

### Análises estatísticas

As variáveis foram submetidas à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas por intermédio de contrastes testados pelo teste de Scheffé.

Os contrastes de  $Y_1$  a  $Y_6$  foram definidos para comparar as práticas culturais de correção da fertilidade do solo. Os contrastes de  $Y_7$  a  $Y_9$  foram definidos para comparar as diferentes condições de uso dos solos estudados e o contraste  $Y_{10}$  foi escolhido para comparar as classes de solo.

Contrastes:

$$Y_1 = X_1 - X_2; \quad Y_2 = X_1 - X_3; \quad Y_3 = X_1 - X_4; \quad Y_4 = -X_2 - X_3; \\ Y_5 = -X_2 - X_4; \quad Y_6 = -X_3 - X_4; \quad Y_7 = Z_1 - Z_2; \quad Y_8 = Z_1 - Z_3; \quad Y_9 = Z_2 - Z_3; \\ Y_{10} = W_1 - W_2,$$

onde:

$X_1, X_2, X_3$  e  $X_4$  = solo natural, com calagem, com aplicação de P e com aplicação de calcário e P, respectivamente;

$Z_1, Z_2$  e  $Z_3$  = mata, pastagem e cultivo, respectivamente;  $W_1$  e  $W_2$  = Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada, respectivamente.

As variáveis estudadas foram ainda correlacionadas entre si, através de correlações de Pearson.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Produção de matéria seca, concentração e acúmulo de P na parte aérea

O feijoeiro respondeu à aplicação de calcário e de P quanto à produção de matéria seca, com exceção da produção de matéria seca de raiz no tratamento com calagem (Tabelas 2 e 3). A maior produção foi obtida pela combinação calcário e P, como pode ser verificado pelas diferenças significativas entre os contrastes que comparam as práticas de correção da fertilidade do solo (Tabela 3) e pela produção média (Tabela 2).

As plantas cultivadas nos solos sob pastagem apresentaram a maior produção de matéria seca e as plantas em solos sob mata, a menor (Tabelas 2 e 3). A maior produção de matéria seca foi obtida nas plantas cultivadas no LR, solo com maior índice tampão de P (Tabela 1).

No LR verificou-se a maior eficiência de utilização do P absorvido pelas plantas (Tabelas 3 e 4). A maior eficiência de utilização de P nos solos de maior capacidade tampão é atenuadora da histerese entre a quantidade de P adicionada e absorvida pelas plantas (Novais, 1977). Segundo Muniz et al. (1985), esse comportamento também explica porque um solo com maior capacidade tampão de P apresenta menor taxa de recuperação do P aplicado.

**TABELA 2.** Produção (g/vaso) de matéria seca da parte aérea, raízes e total de plantas de feijoeiro cultivadas em dois solos sob diferentes condições de uso, submetidos à calagem e à aplicação de P (média de três repetições).

Práticas culturais <sup>1</sup>	Solos e condições de uso					
	LR mata	LR pasto	LR cultivado	TR mata	TR pasto	TR cultivado
Parte aérea						
Testemunha	0,15	7,32	2,24	0,70	0,72	1,18
C	1,08	8,42	2,03	0,82	0,99	1,28
P	0,50	8,67	7,81	6,14	6,66	5,16
C+P	9,68	9,87	8,65	7,05	7,25	5,16
Raiz						
Testemunha	0,39	1,95	1,05	1,04	1,03	1,08
C	0,78	2,12	1,06	0,98	0,87	0,81
P	0,42	2,41	2,37	1,45	1,37	1,24
C+P	2,21	2,12	2,31	1,72	1,83	1,89
Total						
Testemunha	0,54	9,27	3,29	1,74	1,75	2,26
C	1,86	10,54	3,09	1,80	1,86	2,09
P	0,92	11,08	10,18	7,59	8,03	6,40
C+P	10,8	12,09	10,96	8,77	9,08	7,05

<sup>1</sup> Testemunha = sem calagem e sem P; C = com calagem; P = com P; C+P = com calagem e com P.

**TABELA 3.** Estimativas dos contrastes para produção de matéria seca da parte aérea (MSA) da raiz (MSR) e total (MST), concentração (CON) e acúmulo (ACU) de P na parte aérea, fósforo total solúvel em ácido (PTs), fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po), atividade da fosfatase ácida (ASE) e eficiência de utilização de P (EFU).

Contrastes <sup>1</sup>	Estimativas									
	MSA	MSR	MST	CON	ACU	PTs	Pi	Po	ASE	EFU
Testemunha x C	-0,16**	-0,01 <sup>NS</sup>	-0,39**	-0,03 <sup>NS</sup>	-1,16 <sup>NS</sup>	-5,34*	-3,30*	-2,07 <sup>NS</sup>	-0,57 <sup>NS</sup>	-0,079 <sup>NS</sup>
Testemunha x P	-3,77**	-0,45**	-4,22**	-0,21**	-18,18*	-96,91**	-80,98**	-15,96**	-0,96 <sup>NS</sup>	-0,431 <sup>NS</sup>
Testemunha x C+P	-4,39**	-0,92**	-6,59**	-0,26**	-28,31**	-109,81**	-93,44**	-16,38**	-5,33 <sup>NS</sup>	-0,853*
C x P	-3,60**	-0,43**	-3,52**	-0,18**	-17,02*	-91,57**	-77,68**	-13,89**	-0,39 <sup>NS</sup>	-0,355 <sup>NS</sup>
C x C+P	-4,22**	-0,90**	-6,17**	-0,23**	-27,15**	-104,47**	-90,14**	-14,31**	-4,76 <sup>NS</sup>	-0,777 <sup>NS</sup>
P x C+P	-0,62**	-0,46**	-2,34**	-0,05*	-10,13*	-12,90*	-12,46**	-0,42 <sup>NS</sup>	-4,37 <sup>NS</sup>	-0,422 <sup>NS</sup>
Mata x pasto	-3,93**	-0,58**	-3,77**	-0,07*	-6,84 <sup>NS</sup>	-7,85*	-12,51**	4,67 <sup>NS</sup>	-1,23 <sup>NS</sup>	-1,282**
Mata x cultivo	-2,04**	-0,35**	-1,47**	-0,06*	-3,46 <sup>NS</sup>	-4,64*	-4,64*	4,15 <sup>NS</sup>	-2,23 <sup>NS</sup>	-0,342 <sup>NS</sup>
Pasto x cultivo	1,88**	0,23**	2,29**	-0,04 <sup>NS</sup>	-3,38 <sup>NS</sup>	3,21 <sup>NS</sup>	3,21*	-0,54 <sup>NS</sup>	-1,61 <sup>NS</sup>	0,940*
LR x TR	1,08**	0,32**	2,14**	-0,07*	0,66 <sup>NS</sup>	-52,81**	-52,81**	-0,74 <sup>NS</sup>	-0,01 <sup>NS</sup>	1,102**

<sup>1</sup> Testemunha = sem calagem e sem P; C = com calagem; P = com P; C+P = com calagem e com P.

\*\* , \* e <sup>NS</sup> = significativo a 1% e 5% e não significativo, respectivamente (teste de Scheffé).

**TABELA 4.** Eficiência de utilização de P por plantas de feijoeiro cultivadas em dois solos sob diferentes condições de uso, submetidos à calagem e à aplicação de P (média de três repetições).

Práticas culturais <sup>1</sup>	Solos e condições de uso					
	LR mata	LR pasto	LR cultivado	TR mata	TR pasto	TR cultivado
	Eficiência de utilização <sup>2</sup>					
Testemunha	0,130	3,847	1,401	0,538	0,551	0,737
C	0,827	4,021	1,068	0,483	0,583	0,674
P	0,250	2,710	2,603	1,574	1,708	0,938
C+P	2.616	3.184	2,448	1,566	1,611	0,890

<sup>1</sup> Testemunha = sem calagem e sem P; C = com calagem; P = com P; C+P = com calagem e com P.

<sup>2</sup> (g de matéria seca da parte aérea)<sup>2</sup>/(g de P acumulado na parte aérea).

Correlação positiva e significativa foi obtida entre a eficiência de utilização e a produção de matéria seca total (Tabela 5). Desta forma, o índice de eficiência de utilização de P, da maneira como obtido neste trabalho, foi um bom indicativo para explicar a produção de matéria seca. Resultados semelhantes foram obtidos por Furtini Neto (1994), em estudo com P em espécies distintas de eucalipto.

A concentração de P foi maior nos tratamentos que receberam adubação fosfatada, entretanto, o efeito da calagem isolado não foi significativo (Tabelas 3 e 6). Independentemente das práticas culturais de correção da fertilidade do solo e das condições de uso, a concentração de P nos tecidos foliares foi menor no LR. O aumento da concentração de P não acompanhou a produção de matéria seca, podendo neste caso ter ocorrido consumo de luxo pelas plantas cultivadas na TR. Certas espécies parecem não ser eficientes em evitar a absorção excessiva de P, o que pode levar à toxicidade (Grundun, 1972). Uma maior disponibilidade do P aplicado nos solos mais arenosos, como no caso da TR, poderia também ter facilitado a absorção excessiva do nutriente. Segundo Raij (1991), apenas nas concentrações correspondentes às deficiências leves é que ocorre uma relação nítida entre produção e concentração dos nutrientes. Acima dessas concentrações no solo, o aumento do fornecimento não mais corresponde ao aumento de concentração na planta ou de crescimento, representando um consumo de luxo. Segundo Kamprath (1977), as recomendações de fertilização com P devem levar em consideração não apenas o P

disponível, mas também as características de adsorção de P, próprias de cada solo.

A quantidade acumulada de P na parte aérea apresentou comportamento idêntico ao da concentração (Tabelas 3 e 6), exceto quanto ao contraste que compara as classes de solo, o qual não foi significativo estatisticamente. No entanto, a produção de matéria seca correlacionou-se positiva e significativamente com a concentração e conteúdo de P na parte aérea do feijoeiro (Tabela 5).

#### Frações fosfatadas

A classe de solo e as práticas culturais de correção da fertilidade do solo influenciaram a distribuição das frações fosfatadas nas folhas de feijoeiro (Tabelas 3 e 7).

As folhas de feijoeiro cultivado na TR apresentaram teores mais elevados de P<sub>t</sub> (P total solúvel em ácido) e P<sub>i</sub> (P inorgânico), independentemente do sistema de manejo e das práticas culturais.

A calagem e a aplicação de P promoveram acentuado incremento nos teores das frações de P presentes nos tecidos foliares (Tabelas 3 e 7). O maior acúmulo de P<sub>i</sub> verificado nas plantas cultivadas na TR, provavelmente contribuiu para a maior concentração de P e menor eficiência de utilização do nutriente, uma vez que o P<sub>i</sub> é uma fração fosfatada de reserva, sem função metabólica imediata (Bielecki, 1973). Segundo Fabres et al. (1987), variações na concentração de P<sub>i</sub> implicam em significativas variações na concentração de P total. Correlações positivas e significativas foram verificadas

**TABELA 5. Coeficientes de correlação entre os parâmetros de planta avaliados.**

Parâmetro <sup>1</sup>	MSA	MSR	MST	CON	ACU	Pts	Pi	Po	ASE	EFU
MSA	1,00	0,93**	0,89**	0,62**	0,95**	0,51*	0,47	0,52*	0,44	0,87*
MSR		1,00	0,84*	0,51*	0,81*	0,37	0,35	0,35	0,45	0,86
MST			1,00	0,71*	0,93**	0,64*	0,62*	0,55*	0,55*	0,61*
CON				1,00	0,87**	0,93**	0,91**	0,70*	0,32	0,22
ACU					1,00	0,78*	0,75*	0,67*	0,44	0,60*
Pts						1,00	0,99**	0,68*	0,26	0,08
Pi							1,00	0,58*	0,22	0,05
Po								1,00	0,41	0,20
ASE									1,00	0,32
EFU										1,00

<sup>1</sup> MSA = matéria seca da parte aérea; MSR = matéria seca radicular; MST = matéria seca total; CON = concentração de P; ACU = P acumulado; Pts = P total solúvel em ácido; Pi = P inorgânico; Po = P orgânico; ASE = atividade da fosfatase ácida foliar; EFU = eficiência de utilização.

\*\* e \*, significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste de T.

**TABELA 6. Concentração (%) de fósforo e P acumulado (mg/vaso) na parte aérea de plantas de feijoeiro cultivadas em dois solos sob diferentes condições de uso, submetidos à calagem e à aplicação de P (média de três repetições).**

Práticas culturais <sup>1</sup>	Solos e condições de uso					
	LR mata	LR pasto	LR cultivado	TR mata	TR pasto	TR cultivado
	Concentração de P					
Testemunha	0,11	0,19	0,16	0,13	0,13	0,16
C	0,17	0,21	0,19	0,17	0,17	0,19
P	0,20	0,32	0,30	0,39	0,39	0,55
C+P	0,37	0,31	0,35	0,45	0,45	0,58
	P acumulado					
Testemunha	0,17	13,93	3,58	0,91	0,94	1,89
C	1,41	17,63	3,86	1,39	1,68	2,43
P	1,00	27,74	23,43	23,95	25,97	28,38
C+P	35,82	30,60	30,56	31,73	32,63	29,93

<sup>1</sup> Testemunha = sem calagem e sem P; C = com calagem; P = com P; C+P = com calagem e com P.

entre frações de P e produção de matéria seca total e concentração e acúmulo de P pelas plantas de feijoeiro (Tabela 5).

Verifica-se na Tabela 8 que a participação do Pi em relação ao Pts foi maior nas plantas cultivadas na TR do que no LR, ao passo que a participação do Po (P orgânico) em relação ao Pts foi maior no LR. Segundo Fabres et al. (1987), os teores de Pi são

mais variáveis que os de Po com a disponibilidade do P do meio de cultivo.

A maior concentração de P verificada nas plantas cultivadas na TR, deveu-se provavelmente ao maior conteúdo de Pi. Desta forma, segundo Muniz et al. (1985), a medida da concentração crítica seria superestimada em solos menos tamponados, ao incluir o Pi na estimativa de uma concentração meta-

**TABELA 7. Fósforo (mg/kg de matéria fresca) total solúvel em ácido, P inorgânico e P orgânico na parte aérea de plantas de feijoeiro cultivadas em dois solos sob diferentes condições de uso, submetidos à calagem e à aplicação de P (média de três repetições).**

Práticas culturais <sup>1</sup>	Solos e condições de uso					
	LR mata	LR pasto	LR cultivado	TR mata	TR pasto	TR cultivado
	P total solúvel em ácido					
Testemunha	19,05	24,56	21,39	36,35	43,64	38,58
C	29,54	34,28	25,18	38,67	43,39	44,74
P	77,12	83,33	79,07	166,19	185,33	174,20
C+P	96,31	92,00	104,82	172,54	192,06	184,88
	P inorgânico					
Testemunha	16,16	16,33	12,33	28,11	32,97	29,32
C	14,32	18,47	17,41	34,11	36,01	34,74
P	49,67	72,63	61,61	131,37	151,40	154,45
C+P	54,51	73,6	84,06	150,79	177,73	155,20
	P orgânico					
Testemunha	2,89	8,23	9,04	8,24	10,67	9,26
C	15,22	15,82	7,77	4,56	7,38	10,00
P	27,44	10,70	17,45	34,82	33,93	19,75
C+P	41,80	18,33	20,76	21,75	14,33	29,68

<sup>1</sup> Testemunha = sem calagem e sem P; C = com calagem; P = com P; C+P = com calagem e com P.

**TABELA 8. Participação do fósforo inorgânico (Pi) e do fósforo orgânico (Po) em relação ao fósforo total solúvel em ácido (Pts).**

Frações	Solos e condições de uso					
	LR mata	LR pasto	LR cultivado	TR mata	TR pasto	TR cultivado
	%					
Pi	60,65 <sup>1</sup>	77,31	76,11	83,23	85,72	84,47
Po	39,64 <sup>2</sup>	22,69	23,88	19,77	14,28	15,53

<sup>1</sup>  $(\sum Pi / \sum Pts) 100$ .

<sup>2</sup>  $(\sum Po / \sum Pts) 100$ .

bólica crítica. Em solos mais tamponados a contribuição de Pi deve ser bem menor ou talvez insignificante.

#### Atividade da fosfatase ácida foliar

A atividade *in vivo* da fosfatase ácida nos tecidos foliares não diferiu estatisticamente entre os tratamentos estudados (Tabela 9). Era esperado um aumento da atividade na ausência de aplicação de P, uma vez que a deficiência de P causa sua elevação devido ao incremento na "síntese de novo" da enzima (Reid & Bielecki, 1970).

Ascencio (1994) verificou maior atividade da fosfatase ácida *in vivo* em plantas de feijoeiro aos 21 dias de idade quando as plantas foram cultivadas na ausência de P, porém aos 28 dias a atividade no tratamento sem P foi menor do que no tratamento com aplicação de P. Comportamento semelhante foi verificado por Fernandez & Ascencio (1994) em extratos de raízes de feijoeiro, sendo este fato atribuído à menor concentração de proteínas ou ao tempo de resposta ao estresse de P no interior dos tecidos das plantas. A idade, o estágio de crescimento, o número de dias sob estresse e o tempo após o iní-



TABELA 9. Atividade da fosfatase ácida *in vivo* na parte aérea de plantas de feijoeiro cultivadas em dois solos sob diferentes condições de uso, submetidos à calagem e à aplicação de P (média de três repetições).

Práticas culturais <sup>1</sup>	Solos e condições de uso					
	LR mata	LR pasto	LR cultivado	TR mata	TR pasto	TR cultivado
	Fosfatase ácida foliar ----- (µmol de paranitrofenolfosfato/g hora) -----					
Testemunha	32,33	34,40	38,72	38,91	39,53	41,47
C	37,12	38,15	35,94	29,62	36,53	42,26
P	36,68	42,62	39,57	44,14	36,49	37,59
C+P	41,02	46,43	41,39	39,99	35,55	40,94

<sup>1</sup> Testemunha = sem calagem e sem P; C = com calagem; P = com P; C+P = com calagem e com P.

cio do estresse metabólico de P devem ser considerados para que a atividade da fosfatase seja usada como uma ferramenta de diagnose da deficiência de P nas plantas (Ascencio, 1994). No presente estudo, quando da determinação da atividade da fosfatase, as plantas de feijoeiro já se mostravam seriamente afetadas pela ausência de P, inclusive com sintomas de deficiência nos tratamentos que não receberam o nutriente, o que pode ter contribuído para tais resultados. No entanto, a atividade da fosfatase correlacionou-se positiva e significativamente com a produção de matéria seca total. Por sua vez Silva & Basso (1993) verificaram correlações negativas e significativas da atividade da fosfatase ácida *in vivo* com a produção de matéria seca e P acumulado em folhas de cana-de açúcar.

## CONCLUSÕES

1. A maior produção de matéria seca e eficiência de utilização de fósforo ocorrem em plantas cultivadas em Latossolo Roxo, que também proporciona menor acúmulo de fósforo inorgânico nos tecidos foliares em comparação à Terra Roxa Estruturada.

2. A atividade da fosfatase ácida *in vivo* não reflete o estado nutricional das plantas de feijoeiro.

## REFERÊNCIAS

ACCIOLY, L.J.O.; DAL BÓ, M.A.; ALVAREZ, V.U.H.; RIBEIRO, A.C. Métodos para determinação do po-

tencial de sulfato em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.9, n.2, p.103-106, maio/ago. 1985.

ANDERSON, T.H.; INGRAN, J.S.I. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. Wallingford: CAB Internacional, 1992. 221p.

ANTIBUS, R.K.; LESICA, P. Root surface acid phosphatase activities of vascular epiphytes of a Costa Rican rain forest. *Plant and Soil*, The Hague, v.128, n.2, p.233-240, Nov. 1990.

ASCENCIO, J. Acid phosphatase as a diagnostic tool. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.25, n.9/10, p.1553-1564, 1994.

BIELESKI, R.L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v.24, p.225-252, 1973.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. (Rio de Janeiro, RJ). *Manual de métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro, 1979. n.p.

FABRES, A.S.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; CORDEIRO, A.T. Níveis críticos de diferentes frações de fósforo em plantas de alface cultivadas em diferentes solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.11, n.1, p.51-57, jan./abr. 1987.

FERNANDEZ, D.S.; ASCENCIO, J. Acid phosphatase activity in bean and cowpea plants grown under phosphorus stress. *The Journal of Plant Nutrition*, New York, v.17, n.2/3, p.229-241, 1994.

- FREIRE, J.C.; RIBEIRO, M.A.V.; BAHIA, V.G.; LOPES, A.S.; AQUINO, L.H. Resposta do milho em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras-MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.4, n.1, p.5-8, jan./abr. 1980.
- FURTINI NETO, A.E. *Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em Eucalyptus*. Viçosa: UFV, 1994. 116p. Tese de Doutorado.
- GARCIA, M.; ASCENCIO, J. Root morphology and acid phosphatase activity in tomato plants during development of and recovery from phosphorus stress. *The Journal of Plant Nutrition*, New York, v.15, n.11, p.2491-2503, 1992.
- GERLOFF, G.C.; GABELMAN, W.H. Genetic basics of inorganic plant nutrition. In: LAUCHLI, A.; BIELESKI, R.L. (Eds.). *Inorganic plant nutrition*. Berlin: Springer Verlag, 1993.
- GRUNDUN, N.J. Mineral nutrition of some queensland heath plants. *The Journal of Ecology*, Oxford, v.60, p.171-181, 1972.
- HOLFORD, I.C.R.; MATTINGLY, G.E.G. Effects of phosphate buffering on the labile phosphate by soil test. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, v.17, p.377-389, 1979.
- HOGUE, E.; WILCOX, G.E.; CANTLIFFE, D.J. Effect of soil phosphorus levels on phosphate fractions in tomato leaves. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, Alexandria, v.95, n.1, p.174-176, Jan./Feb. 1970.
- KAMPRATH, E.J. Phosphorus fixation and availability in highly weathered soils. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4., 1976, Brasília. *Anais...* São Paulo: EDUSP, 1977. p.333-347.
- MARTINEZ, H.E.P. *Cinética da absorção e das frações fosfatadas em sete variedades de soja (Glycine max L.(Merril))*. Viçosa: UFV, 1992. não paginado. Relatório Final de Pós-Doutoramento.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and clay minerals*, Clarkson, v.7, n.2, p.317-327, 1960.
- MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Nível crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.9, n.3, p.237-243, set./dez. 1985.
- NOVAIS, R.F. *Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soils*. Raleigh: North Carolina State University, 1977. 153p. Ph.D. Thesis.
- RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.
- REID, M.S.M.; BIELESKI, R.L. Changes in phosphatase activity in phosphorus deficient Spirodela. *Planta*, Berlin, v.94, p.273-284, 1970.
- SIDDIQUI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *The Journal of Plant Nutrition*, New York, v.4, p.289-302, 1981.
- SILVA, F.C.; BASSO, L.C. Avaliação da atividade *in vivo* da fosfatase ácida da folha na diagnose da nutrição fosfórica em cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.17, n.3, p.371-375, set./dez. 1993.
- SMILLE, R.M.; KROTKOV, G. The estimation of nucleic acids in some algae and higher plants. *Canadian Journal of Botany*, v.38, n.1, p.31-49, Jan. 1960.
- SYERS, J.K.; BROWMAN, M.G.; SMILLE, G.W.; COREY, R.B. Phosphate sorption by soils evaluated by the Langmuir adsorption equation. *Soil Science Society of America. Proceedings*, Madison, v.37, n.3, p.358-363, May/June 1973.
- VETORI, L. *Métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim técnico, 7).