

LUIZ ARNALDO FERNANDES

**FÓSFORO E ATIVIDADE DE FOSFATASES EM DOIS SOLOS SOB DIFERENTES
CONDIÇÕES DE USO E CULTIVADOS COM PLANTAS DE FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Dr. ANTONIO EDUARDO FURTINI NETO

LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL
1996

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Classificação e Catalogação da
Biblioteca Central da UFLA

Fernandes, Luiz Arnaldo

Fósforo e atividade de fosfatases em dois solos sob diferentes
condições de uso e cultivados com plantas de feijoeiro /

Luiz Arnaldo Fernandes. -- Lavras : UFLA, 1996.

58 p. : il.

Orientador: Antonio Eduardo Furtini Neto.

Dissertação (Mestrado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Solo-Adubação-Fósforo. 2. Fosfatase. 3. Feijão.

I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

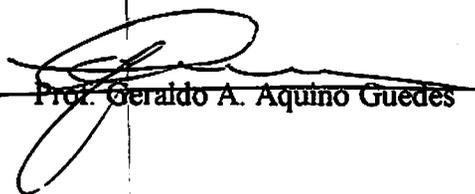
CDD-631-85

LUIZ ARNALDO FERNANDES

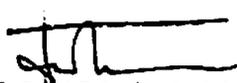
**FÓSFORO E ATIVIDADE DE FOSFATASES EM DOIS SOLOS SOB DIFERENTES
CONDIÇÕES DE USO E CULTIVADOS COM PLANTAS DE FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 8 de agosto de 1996



Prof. Geraldo A. Aquino Guedes



Prof. José Maria de Lima



Prof. Nilton Curi



Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto
(Orientador)

A Deus

Pela vida

OFEREÇO

Aos meus pais Aparecido e Cleuza pela confiança

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Lavras (UFLA) pela oportunidade e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores Antonio Eduardo Furtini Neto e Geraldo Aparecido A. Guedes pela amizade e orientação.

Aos professores Nilton Curi e José Maria de Lima pelas valiosas críticas e sugestões.

Ao professor Valdemar Faquin, coordenador do curso de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas pelo apoio e oportunidade.

Ao professor Fabiano Ribeiro do Vale pela orientação na iniciação científica.

A todos os professores do Departamento de Ciência do Solo pelos ensinamentos durante o curso.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, em especial a José Roberto Fernandes e João Batista Corrêa pelo auxílio na coleta e nas análises químicas dos solos.

Ao colega Marx Leandro pelo auxílio na caracterização química e mineralógica dos solos.

Ao bolsista de iniciação científica Fernando Cavichioli, pelo auxílio na condução e avaliação do experimento.

A todos os colegas de curso pelo apoio e amizade.

SUMÁRIO

	página
LISTA DE TABELAS.....	v
RESUMO.....	viii
SUMMARY.....	x
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1-CAPÍTULO I: Formas de fósforo e atividades de fosfatases em dois solos sob diferentes sistemas de manejo	
Resumo.....	3
1.1-Introdução.....	5
1.2-Material e Métodos.....	9
1.2.1-Solos utilizados.....	9
1.2.2-Características químicas, físicas e mineralógicas dos solos estudados.....	9
1.2.3-Incubação dos solos com calcário e fósforo.....	12
1.2.4-Avaliação do experimento.....	12
1.3-Resultados e Discussão.....	14
1.3.1-Formas de P inorgânico.....	14
1.3.2-Fósforo orgânico total e fósforo orgânico na biomassa microbiana.....	16
1.3.3-Atividade das fosfatases ácida e alcalina.....	19
1.3.4-Fósforo disponível pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina.....	21
1.4-Conclusões.....	24
1.5-Referências Bibliográficas.....	25

2-CAPÍTULO II: Formas de fósforo e atividade da fosfatase ácida em plantas de feijoeiro

Resumo.....	30
2.1-Introdução.....	32
2.2-Material e Métodos.....	35
2.2.1-Solos.....	35
2.2.2- Características químicas e bioquímicas dos materiais de solo estudados.....	35
2.2.3-Incubação dos solos com calcário e fósforo e cultivo do feijoeiro.....	35
2.2.4-Avaliação do experimento.....	36
2.2.5-Análises estatísticas.....	37
2.3-Resultados e Discussão.....	39
2.3.1-Produção de matéria seca, concentração e acúmulo de P na parte aérea.....	39
2.3.2-Frações fosfatadas.....	45
2.3.3-Atividade da fosfatase ácida foliar.....	47
2.3.4-Correlações entre os parâmetros de solo e de planta.....	49
2.4-Conclusões.....	52
2.5-Referências Bibliográficas.....	53
3-CONCLUSÕES GERAIS.....	56
APÊNDICE.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
Capítulo I		
1.1	Características químicas, físicas e mineralógicas dos solos estudados (0-20 cm) e doses de calcário para elevar o pH dos solos a 6,5.....	10
1.2	Características químicas dos solos estudados (0-20 cm) após a aplicação de calcário para elevar o pH dos solos a 6,5.....	11
1.3	Fósforo ligado a ferro (P-Fe), alumínio (P-Al) e cálcio (P-Ca) em função das condições de uso e aplicação de corretivo e fósforo.....	15
1.4	Fósforo orgânico total, P orgânico imobilizado na biomassa microbiana e atividade das fosfatases ácida e alcalina nos solos estudados(média e desvio padrão).....	17
1.5	Fósforo disponível pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina nos solos estudados (média e desvio padrão).....	22
1.6	Coefficientes de correlação entre as formas de P no solo e atividade das fosfatases.....	23
Capítulo II		
2.1	Estimativas dos contrastes para a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), raízes (MSRA) e total (MSTOT) das plantas de feijoeiro cultivadas em dois solos sob diferentes condições de uso, submetidos à calagem e fertilização com P.....	39
2.2	Produção de matéria seca da parte aérea, da raiz e total de plantas de feijoeiro cultivadas em dois solos sob diferentes condições de uso, submetidos à calagem e fertilização com P.....	40

2.3	Eficiência de utilização de P por plantas de feijoeiro cultivadas em dois solos sob diferentes condições de uso, submetidos à calagem e fertilização com P.....	42
2.4	Concentração de fósforo e P acumulado na parte aérea de plantas de feijoeiro cultivadas em dois solos sob diferentes condições de uso, submetidos à calagem e fertilização com P (média e desvio padrão).....	43
2.5	Coefficientes de correlação entre os parâmetros de planta avaliados.....	44
2.6	Fósforo 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 fertilização com P (média e desvio padrão).....	46
2.7	Participação do P inorgânico e do P orgânico em relação ao P total solúvel em ácido.....	47
2.8	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 fertilização com P (média e desvio padrão).....	48
2.9	Coefficientes de correlação entre os parâmetros de solo e planta para o solo Latossolo Roxo.....	49
2.10	Coefficientes de correlação entre os parâmetros de solo e planta para o solo Terra Roxa Estruturada.....	50
1A	Resumo da análise de variância dos parâmetros vegetativos avaliados.....	58

RESUMO

FERNANDES, Luiz Arnaldo. **Fósforo e atividade de fosfatases em dois solos sob diferentes condições de uso e cultivados com plantas de feijoeiro**. Lavras:UFLA, 1996. 58p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)*.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - UFLA, usando 2 solos (Latosolo Roxo-LR e Terra Roxa Estruturada-TR), sob três condições de uso (mata, pastagem e cultivo) e duas práticas culturais de correção da fertilidade do solo (calagem e fertilização fosfatada), com o objetivo de estudar as formas orgânicas e inorgânicas de P, a atividade das fosfatases nos dois solos e em plantas de feijoeiro, e o P disponível pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina. As amostras dos solos foram coletadas na camada de 0-20 cm e foram incubadas por 15 dias em vasos de três dm³ com CaCO₃ e MgCO₃ na relação Ca:Mg de 4:1 para elevar o pH dos solos a 6,5. Após os 15 dias, aplicou-se 250 mg de P/kg de solo e incubou-se novamente por um período de 180 dias. Após este período, os materiais de solo foram analisados para P inorgânico, P orgânico total, P orgânico na biomassa microbiana, atividade das fosfatases ácidas e alcalinas e P disponível pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina. Em seguida cultivou-se plantas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca-MG) por 30 dias a partir da emergência das plântulas. Ao final dos 30 dias, amostras de folhas foram coletadas para a análise da fosfatase ácida foliar "in vivo" e frações de P no tecido

da parte aérea. Independente das condições de uso e das práticas de correção da fertilidade do solo, o LR apresentou maiores teores de P ligado a ferro do que a TR, enquanto a TR apresentou maiores teores de P ligado a alumínio. O solo LR sob mata foi o que apresentou os teores mais elevados de P orgânico total, P na biomassa microbiana e atividade das fosfatases ácida e alcalina. Os extratores ácidos extraíram menores quantidades de P em relação a resina em todos os tratamentos. Os três extratores apresentaram correlações positivas e significativas com as formas de P inorgânico. A maior produção de matéria seca e a maior eficiência de utilização de P foram obtidas nas plantas cultivadas no LR, independente das condições de uso e das práticas culturais. As plantas cultivadas na TR apresentaram maiores teores de P inorgânico (Pi) e P total solúvel em ácido (Pts), sendo que o maior acúmulo destas frações de P ocorreu com a aplicação de calcário e de P. As plantas cultivadas na TR apresentaram ainda, maior acúmulo de Pi em relação ao Pts do que as plantas cultivadas no LR. A atividade da fosfatase ácida foliar 'in vivo' não apresentou um padrão de comportamento em função dos solos, condições de uso e práticas culturais de correção da fertilidade do solo. As formas de P inorgânico do solo e o P disponível pelos extratores correlacionaram-se significativa e positivamente com os parâmetros de planta avaliados.

* Orientador: Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto. Membros da banca: Prof. Dr. Geraldo Aparecido A. Guedes, Prof. Dr. Nilton Curi e Prof. Dr. José Maria de Lima.

SUMMARY

PHOSPHORUS AND ACID PHOSPHATASE ACTIVITY IN TWO SOILS UNDER DIFFERENT CONDITIONS AND IN COMMON BEAN PLANTS

The experiment was carried out at greenhouse conditions using two soils (LR and TR) under 3 management systems (forest, pasture and crops cultures) and 2 correction practice of soil fertility (liming and phosphate application), in order to study organic and inorganic P fraction, phosphatase activity and P available by Mehlich 1, Mehlich 3 and resina extractants as well as the effect of soil characteristics on P fraction and phosphatase activity in bean plants. Soils samples were incubated with 4:1 CaCO_3 : MgCO_3 liming material in order to increase the pH to 6.5. After 15 days, 250 mg P/kg of soil were added to the samples and the soil samples were incubated for 180 days. After this period, the soil samples were analyzed for inorganic and organic P, phosphatase activity and P available by Mehlich 1, Mehlich 3 and ion exchange resin, and bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca-MG) were cultivated for 30 days after the emergence of seedling. After this period, leaves were sampled for acid phosphatase activity "in vivo" and P fractions. The rest of plant was dried to determine dry matter and total P in the aerial part. In all treatments the P-Fe fraction was higher in the LR than TR, while, P-Al fraction was higher in TR. The LR sampled under forest presented higher contents of organic total P, P in microbial biomass and acid and alkaline phosphatases activity. All extractants presented positive correlation with

inorganics P fractions. The higher dry matter production and P utilization efficiency was observed for plants cultivated in the LR. The plants cultivated in TR presented higher contents of inorganic P and total soluble P in acid compared to LR soil. The phosphatase activity did not show a trend as a function of treatments. The fractions of inorganic P in soil presented positive correlation with the plants characteristics studied.

INTRODUÇÃO GERAL

Na maioria dos solos de regiões tropicais, a deficiência de fósforo, e os elevados teores de alumínio trocável, são os problemas mais sérios para o estabelecimento e desenvolvimento vegetal. A deficiência de fósforo, além de comprometer a produção das plantas, afeta também a fixação biológica de nitrogênio.

As plantas absorvem fósforo da solução do solo, porém, somente uma pequena fração do fósforo total do solo se encontra em solução. A reposição do fósforo na solução é feita pela hidrólise do fósforo inorgânico lábil ou pela mineralização do fósforo orgânico. O suprimento de fósforo para as plantas depende da quantidade de fósforo inorgânico lábil, da taxa de transformação do fósforo inorgânico não-lábil para lábil e da taxa de mineralização das frações orgânicas de fósforo pelas enzimas produzidas pelas plantas e pelos microrganismos do solo. Além destes aspectos, o uso e o tipo de vegetação podem alterar a disponibilidade do fósforo, pelo seu efeito na dinâmica do nutriente no solo.

A forma como o fósforo se encontra no solo afeta a absorção desse nutriente pelas plantas. Para uma adequada avaliação da disponibilidade de fósforo para as plantas devem ser considerados os fatores quantidade, intensidade, capacidade tampão e difusão do nutriente no solo. A quantidade de fósforo extraída por um determinado extrator, semelhante ao sistema radicular, é inversamente proporcional à capacidade tampão do solo.

Em trabalhos de avaliação da eficiência de um determinado extrator em prever a disponibilidade de fósforo para a nutrição da planta, a correlação do P extraído com a concentração ou acúmulo de fósforo na planta poderá não refletir o estado nutricional da mesma.

Em condições de maior disponibilidade de fósforo pode ocorrer na planta um acúmulo de fósforo na forma inorgânica sem função metabólica imediata, mas que pode ser mobilizada em condições de deficiência de fósforo.

O presente trabalho teve como objetivo estudar as formas orgânicas e inorgânicas de fósforo e a atividade de fosfatases no solo e em plantas de feijoeiro cultivadas em dois solos sob diferentes sistemas de cultivo e de práticas culturais de correção da fertilidade do solo.

1 CAPÍTULO I

FÓSFORO E ATIVIDADE DE FOSFATASES EM DOIS SOLOS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE USO

RESUMO: O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, usando dois solos (Latosolo Roxo e Terra Roxa Estruturada), sob três condições de uso (mata, pastagem e cultivo) e duas práticas culturais de correção da fertilidade do solo (calagem e fertilização fosfatada) com o objetivo de estudar as formas de P no solo, a atividade das fosfatases e o P disponível pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina. As amostras dos solos estudados foram coletadas na camada de 0-20 e foram incubadas em vasos de três dm³ com CaCO₃:MgCO₃ na relação Ca:Mg de 4:1 para elevar o pH dos solos a 6,5. Após 15 dias, aplicou-se 250 mg de P/dm³ de solo e efetuou-se novamente a incubação dos solos por 180 dias. Após este período, os materiais de solo foram analisados para P inorgânico, P orgânico total, P orgânico na biomassa microbiana, atividade das fosfatases ácidas e alcalinas e P disponível pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina. As condições de uso e as práticas de correção da fertilidade do solo tiveram pouca influência nas formas de P inorgânico. O Latossolo Roxo (LR), independente das condições de uso e das práticas de correção da fertilidade apresentou maiores teores de P ligado a ferro, enquanto que a Terra Roxa Estruturada (TR) apresentou maiores teores de P ligado a alumínio. Para as formas orgânicas de P e atividade das fosfatases, o uso e as práticas culturais de correção da fertilidade do solo exerceram grande influência, sendo que o LR sob mata apresentou os teores mais elevados de P orgânico total, P na

biomassa microbiana e atividade das fosfatases ácida e alcalina. Os extratores ácidos extraíram menores quantidades de P em relação à resina em todos os tratamentos estudados. Os três extratores apresentaram correlações positivas e significativas com as formas de P inorgânico do solo.

1.1 INTRODUÇÃO

Na maioria dos solos dos trópicos úmidos, o P é considerado um dos nutrientes mais limitantes à produtividade dos agroecossistemas (Ae et al., 1990). O ciclo do P, diferentemente do C, N e S, envolve reações de equilíbrio entre os constituintes orgânicos e inorgânicos do solo (Duxbury et al., 1989). O P lábil, que regula o P da solução do solo, e que é absorvido pelas plantas, varia em função dos mecanismos físico-químicos e bioquímicos que ocorrem no solo, tais como a depleção de P pelas raízes das plantas, imobilização e mineralização das frações orgânicas e adsorção e dessorção das frações inorgânicas (Sayal e De Datta, 1991).

O P do solo é suprido pelo material de origem ou pela adição de fertilizantes fosfatados (Tiessen, Stewart e Moir, 1984). Segundo estes autores, a maioria dos solos contém fosfato de cálcio no material de origem, o qual é hidrolizado durante o seu desenvolvimento para suprir sua solução em P. O fósforo em solução pode ser adsorvido na superfície dos minerais, precipitar-se com vários cátions, ou ser incorporado na biomassa e na matéria orgânica do solo. Durante o intemperismo do solo, as bases e a sílica são removidas e os óxidos (termo inclusivo para óxidos, oxidróxidos e hidróxidos) de ferro e alumínio são gerados, permitindo a formação de fosfatos secundários de ferro e de alumínio (Hsu, 1977). A abundância relativa dos minerais primários, ligados a cálcio, fosfatos inorgânicos secundários e P orgânico podem ser usados para inferir sobre o processo de intemperismo do solo (Walker e Syer, 1976). Assim, a natureza e a distribuição das formas de P no solo fornecem informações adicionais na avaliação da disponibilidade do nutriente e na estimativa da intemperização química do solo (Machado, Brauner e Vianna, 1993).

No estudo das transformações das formas de P no solo, o método de extração seletiva por vários reagentes, conhecido como fracionamento de P (Chang e Jackson, 1957), tem sido utilizado. Esse método baseia-se na solubilidade seletiva das soluções NH_4F 0,5N a pH 8,2, NaOH 0,1N e H_2SO_4 0,5N, sendo as frações de P extraídas, denominadas respectivamente, de P ligado a alumínio, ferro e a cálcio. Entretanto, principalmente em solos onde se adicionou P e calcário, os teores de cada fração obtidos pelos diferentes reagentes podem não corresponder exatamente às formas de P descritas por Chang e Jackson (1957), devido aos inúmeros complexos fosfatados formados. Dessa forma, um reagente pode extrair simultaneamente uma pequena fração de outras formas de P. Porém, segundo Barbosa Filho (1987), pela simplicidade do método e pela possibilidade de se conhecer a causa de deficiência desse elemento e prever a resposta das culturas à adubação fosfatada, essa técnica de fracionamento tem sido amplamente utilizada nos estudos sobre o comportamento químico do P em diferentes solos.

Uma outra aplicação do fracionamento de P inorgânico é a de avaliar o relacionamento das formas do fracionamento com os teores obtidos por diversos extratores que estimam os teores de P disponível para as plantas. Braga e Defelipo (1972) verificaram que a calagem altera as formas de P inorgânico e os teores de P disponível, dependendo do extrator e do solo utilizado. Assim sendo, o conhecimento do relacionamento do P disponível com as formas de P, permite identificar qual o extrator mais adequado para uma determinada área (Barbosa Filho, 1987).

A disponibilidade de P para as plantas depende do fator quantidade, intensidade, capacidade e difusão do P no solo. Por motivos metodológicos, nos estudos de avaliação da disponibilidade de P para as plantas, o fator quantidade é o mais fácil de ser determinado, existindo métodos satisfatórios para sua avaliação (Brasil, 1994). Segundo Thomas e Peaslee (1973), as características do solo é que determinam os compostos de P, que constituirão seu fator quantidade, sendo basicamente compostos ligados ao ferro, alumínio e ao cálcio, cujas quantidades

e combinações dependem do material de origem, do grau de intemperização do solo, e das práticas de uso a longo prazo.

Os extratores ácidos, como o Mehlich 1 e Mehlich 3, extraem mais fósforo ligado ao cálcio no solo e apenas pequena proporção ligado ao alumínio e ferro (Kramprath e Watson, 1980). A ação extratora do Mehlich 1, formado pela mistura de dois ácidos fortes diluídos (HCl 0,05N e H₂SO₄ 0,025N), se dá pela ação ácida que promove a protonação do P, e, pela troca aniônica em que os radicais cloreto e principalmente os sulfatos substituem os fosfatos ligados ao cálcio e em menor proporção os ligados ao alumínio e ferro, sendo ainda que os íons sulfato atuam reduzindo a reabsorção do P do solo durante o processo de extração (Mehlich, 1978).

O extrator Mehlich 3 (CH₃COOH 0,2N; NH₄NO₃ 0,25N; NH₄F 0,015N; HNO₃ 0,013N e EDTA 0,001M) foi introduzido em 1984 para uso em solos ácidos (Mehlich, 1984). Os vários compostos químicos atuam especificamente sobre as formas de P do solo. O ácido acético atua na decomposição da apatita em menor grau do que os ácidos minerais equivalentes, o nitrato faz o papel do cloreto, o fluoreto tem o propósito de liberar ânions fosfatos ligados ao alumínio, e o EDTA tem a finalidade de aumentr a extração de cobre do solo (Mehlich, 1984).

Pelo fato de que em solos ácidos e ricos em óxidos de ferro e alumínio e caulinita, como a maioria dos solos brasileiros, os extratores ácidos não deveriam ser a melhor opção para extrair P de tais solos (Raij, 1991), a resina trocadora de íons tem surgido como uma alternativa para a avaliação da disponibilidade de P. A resina é um produto comercializado em pequenas esferas de diâmetro de aproximadamente 1 mm ou menos. O material é poroso devido à estrutura matricial das cadeias de poliestireno. Os grupos funcionais existentes nessas cadeias são do tipo base forte, dissociando-se a qualquer valor de pH. O processo de extração ocorre em suspensão aquosa de terra e resina, havendo uma transferência de P para a resina em função do equilíbrio que existe entre o P lábil e o P em solução. Tendo-se em vista que a capacidade de troca de ânions da resina é muito alta, tem-se na realidade uma tranferência do P lábil do solo para a resina (Raij, 1991).

Em adição aos processos inorgânicos, a ciclagem da matéria orgânica constantemente libera P para a solução do solo através da mineralização do P orgânico. A contribuição para a ciclagem do P das frações orgânicas torna-se substancial quando uma grande percentagem do P total do solo encontra-se na forma orgânica e quando os solos são dominados por altas quantidades de P retida em minerais como alofanos e óxidos mal cristalizados (Stewart e Tiessem, 1987).

O P orgânico é transformado em P solúvel pela ação das fosfatases, enzimas que catalizam a hidrólise de ésteres de fosfatos, liberando fosfato solúvel. As fosfatases são secretadas pelas raízes das plantas e pelos microrganismos do solo (Nahas, Centurion e Assis, 1994).

Aproximadamente 2 a 5% do P orgânico estão armazenados na biomassa microbiana do solo (Jenkinson e Ladd, 1982), sendo esta considerada como a fração mais lábil da matéria orgânica (Brookes, Powlson e Jenkinson, 1982). A taxa de decomposição reflete a atividade dos organismos que estão participando ativamente dos processos de imobilização e mineralização de nutrientes, sendo portanto, um parâmetro importante na avaliação da biogeociclagem (Grisi, 1988). Porém, segundo este autor, um elevado valor de biomassa obtido pelo método da fumigação poderá não corresponder diretamente a uma alta taxa de decomposição, pois neste caso, pode estar incluída a biomassa de microrganismos autotróficos e de esporos.

O uso do solo e o tipo de vegetação afetam as formas de P do solo, principalmente as formas orgânicas, por estarem diretamente relacionadas com a atividade biológica do solo (Tate, 1984). Quando uma floresta tropical é convertida para pastagem ou para cultivo de grãos, a ciclagem de nutrientes é fortemente afetada (Magid, 1993).

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar algumas das formas de P do solo, a atividade das fosfatases e o P disponível pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina em dois solos do município de Lavras (MG) sob três condições de uso, quando submetidos à calagem e a fertilização com fósforo.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Solos

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

O LR sob mata está sob vegetação primária não perturbada; o LR sob pastagem está sob *Brachiaria decumbens*, e recebeu calcário e adubação com P na forma de superfosfato simples, apenas por ocasião da instalação da pastagem em 1986; o LR sob cultivo está sendo cultivado com milho e feijão por vários anos e é anualmente fertilizado com NPK, sendo que a última calagem havia sido realizada há três anos.

A TR sob mata está sob vegetação secundária; a TR sob pastagem está coberta com capim gordura (*Melinis minutiflora*) e recebeu calagem há dois anos; a TR sob cultivo está sendo cultivada com arroz e recebe anualmente adubação com NPK, sendo que a última calagem havia sido realizada há dois anos.

1.2.2 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, e as características químicas do solo após a aplicação do calcário encontram-se nas Tabelas 1.1 e 1.2, respectivamente. 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

TABELA 1.1. Características químicas, físicas e mineralógicas dos solos (0-20 cm) e doses de calcário para elevar o pH a 6,5.

Características	Solos					
	LR mata	LR pasto	LR cult.	TR mata	TR pasto	TR cult.
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 _c /dm ³)	0,3	2,8	2,3	3,1	3,3	3,1
Mg (cmol _c /dm ³)	0,1	0,8	0,6	0,8	0,8	0,7
Al (cmol _c /dm ³)	1,1	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1
H+Al (cmol _c /dm ³)	12,3	4,3	4,8	6,1	5,1	5,2
P (mg/kg)	2	13	3	3	4	4
S (cmol _c /dm ³)	0,5	3,5	3,1	4,1	4,3	4,0
t (cmol _c /dm ³)	1,6	3,7	3,4	4,4	4,4	4,1
T (cmol _c /dm ³)	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 ₂ O ₃ d (g/kg) ⁽¹⁾	118	115	120	55	48	50
SiO ₂ (g/kg) ⁽²⁾	137,80	-	-	177,70	-	-
Al ₂ O ₃ (g/kg) ⁽²⁾	257,60	-	-	240,50	-	-
Fe ₂ O ₃ (g/kg) ⁽²⁾	173,70	-	-	169,30	-	-
TiO ₂ (g/kg) ⁽²⁾	13,20	-	-	10,50	-	-
Ki	0,91	-	-	1,24	-	-
Ct (g/kg) ⁽³⁾	177	164	190	191	159	181
Gb (g/kg) ⁽⁴⁾	194	180	208	64	53	61
Gb/Gb+Ct	0,52	0,52	0,52	0,25	0,25	0,25
CMAF (mg/kg) ⁽⁵⁾	2251	1915	2178	1274	1189	983
ITP ⁽⁶⁾	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

⁽¹⁾ Ferro ditonito; ⁽²⁾ óxidos do ataque sulfúrico; ⁽³⁾ caulinita; ⁽⁴⁾ gibbsita; ⁽⁵⁾ capacidade máxima de adsorção de P; ⁽⁶⁾ índice tampão de P.

TABELA 1.2. Características químicas dos solos (0-20 cm) após a aplicação de calcário para elevar o pH dos solos a 6,5.

Características	Solos					
	LR mata	LR pasto	LR cult.	TR mata	TR pasto	TR cult.
pH em água	6,2	6,5	6,4	6,4	6,4	6,6
K (mg/kg)	50	77	77	68	81	85
Ca (cmol _c /dm ³)	5,2	4,0	3,8	4,6	3,6	4,5
Mg (cmol _c /dm ³)	1,4	1,2	1,0	1,2	1,1	1,1
Al (cmol _c /dm ³)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
H+Al (cmol _c /dm ³)	2,9	2,4	2,8	2,8	2,8	2,5
P (mg/kg)	2	13	3	3	4	4
S (cmol _c /dm ³)	6,7	5,4	5,0	6,0	5,0	3,8
t (cmol _c /dm ³)	6,8	5,5	5,1	6,1	3,1	5,9
T (cmol _c /dm ³)	9,6	7,8	7,8	8,5	7,8	8,3
m (%)	2	2	2	2	2	2
V (%)	70	70	64	71	64	70

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 metodologia de EMBRAPA (1979). O fósforo total foi determinado conforme metodologia apresentada por Anderson e Ingram (1992). Os teores de Fe livre (Fe_a) foram obtidos através de quatro extrações sucessivas com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) (Mehra e Jackson, 1960). Os teores dos óxidos do ataque sulfúrico foram determinados conforme Vetori (1969), com modificações de 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) e o índice tampão de P (ITP) foram determinados conforme metodologia descrita em Guilherme et al. (1996), onde dois gramas da fração TFSA dos diferentes solos foram mantidos em contato, mediante agitação por 12 horas, com solução (40 ml) contendo 0, 25, 50, 100 e 200 mg de P por litro de solução CaCl₂ 0,01M, sendo o P dosado posteriormente no sobrenadante, e os valores de adsorção encontrados,

ajustados a equação de Langmuir para a determinação da CMAF. Após o descarte do sobrenadante, procedeu-se a dessorção de P, onde as amostras dos diferentes solos, foram novamente agitadas por 12 horas com solução CaCl_2 0,01M. O ITP foi estimado a partir dos valores dos coeficientes b_1 das equações de segundo grau ajustadas entre o P adicionadas e o P dessorvido nas diferentes concentrações de P adicionado para cada solo.

1.2.3 Incubação dos solos com calcário e fósforo

Os solos foram incubados em vasos com capacidade de três dm^3 , com e sem as respectivas doses de corretivo, obtendo-se seis vasos com calagem e seis vasos sem calagem para cada solo. A umidade foi mantida em torno de 70% do volume total de poros (Freire et al., 1980) por um período de 15 dias. Após esse período, o material de solo foi seco e peneirado e recebeu aplicação de 250 mg de P/ dm^3 de solo, sendo 195 mg/kg na forma de NH_4HPO_4 e 55 mg/kg na forma de KH_2PO_4 . Deste modo obteve-se quatro tratamentos para práticas de correção da fertilidade do solo: sem aplicação de calcário e de fósforo (teste); com aplicação de calcário (C); com aplicação de fósforo (P) e com aplicação de calcário e de 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 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 , CuCl_2 e ZnCl_2 , respectivamente. O material de solo foi novamente incubado por 180 dias (08-11-95 a 08-02-96), mantendo-se a umidade em torno de 70% do volume total de poros acupados por água.

1.2.4 Avaliação do experimento

Após 180 dias de incubação, determinou-se o P na biomassa microbiana pelo método da fumigação e extração (Brookes, 1985) e a atividade das fosfatases ácida e alcalina pelo método modificado de Nahas, Centurion e Assis (1994).

As formas de P inorgânico, P ligado a ferro (P-Fe), alumínio (P-Al) e a cálcio (P-Ca) foram determinadas pelo método do fracionamento de Chang e Jackson (1957), modificado por Braga (1980). O P orgânico foi estimado pelo método da ignição descrito em Anderson e Igram (1992). Os teores de P disponível foram determinados pelos extratores Mehlich 1 (EMBRAPA, 1979), Mehlich 3 (Mehlich, 1984) e pela resina trocadora de íons (Raij, Quaggio e Cantarella, 1987). Todas as amostras foram tomadas em triplicata.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Formas de P inorgânico

Observou-se uma tendência da fração de P-Fe predominar no LR (Tabela 1.3), ao passo que na TR houve maiores teores de P-Ca em comparação ao LR, independente das condições de uso e das práticas culturais de correção da fertilidade do solo. Estas observações refletem o estágio de intemperismo mais avançado do LR em relação a TR. À medida em que os solos vão se tornando mais ácidos pela remoção de sílica e de bases, as formas mais solúveis de P-Ca são convertidas para P-Al e P-Fe (Hsu, 1977). As formas de P-Fe, P-Al e P-Ca, associadas à fase sólida do solo são chamadas de formas ativas, ao passo que as formas oclusas de P e formas que se dissolvem com a redução química do solo através do DCB, são consideradas formas inativas (Chang e Jackson, 1957). As formas ativas são mais disponíveis para as plantas (Udo e Dombo, 1979), sendo esta labilidade dependente do tempo e da estabilidade dos compostos formados (Raij, 1991). Machado, Brauner e Vianna (1993) verificaram nos solos mais velhos do Rio Grande do Sul um predomínio de P-Fe em relação às demais formas inorgânicas ativas, evidenciando que estes solos atingiram um grau avançado de intemperização.

A predominância de gibbsita no LR e de caulinita na TR, o menor valor da relação K_i , e a menor relação silte/argila e ainda, a maior taxa gibbsita/gibbsita+caulinita no LR (Tabela 1.1), também refletem o seu estágio mais avançado de intemperismo em relação à TR. A estrutura granular presente no LR permite uma maior remoção de sílica em relação à estrutura em blocos da TR, favorecendo a formação de gibbsita (Marques Junior, Curi e Lima, 1992). Os baixos

TABELA 1.3. Fósforo ligado a ferro (P-Fe), alumínio (P-Al) e a cálcio (P-Ca) em função das condições de uso e aplicação de corretivo e fósforo (média e desvio padrão).

	Solos					
	LR mata	LR pasto	LR cultivo	TR mata	TR pasto	TR cultivo
	P-Fe					
	----- mg P/kg solo -----					
teste	39 ±5,23	41 ±6,52	44 ±1,55	24 ±2,51	24 ±3,42	28 ±5,83
C	42 ±2,65	42 ±2,33	46 ±0,69	28 ±3,24	26 ±4,56	28 ±6,78
P	142 ±13,41	152 ±12,40	161 ±14,52	112 ±8,95	120 ±10,12	116 ±13,14
C+P	161 ±15,87	155 ±11,21	174 ±12,33	117 ±9,12	125 ±11,58	120 ±13,48
	P-Al					
	----- mg P/kg solo -----					
teste	19 ±2,25	17 ±2,51	17 ±2,58	29 ±6,52	26 ±3,89	29 ±5,80
C	19 ±1,45	19 ±1,99	21 ±5,14	31 ±3,24	31 ±6,25	32 ±4,56
P	76 ±14,11	83 ±8,52	61 ±12,12	151 ±15,25	148 ±15,42	148 ±15,21
C+P	78 ±14,15	90 ±5,47	73 ±15,41	157 ±18,30	151 ±11,87	149 ±14,36
	P-Ca					
	----- mg P/kg solo -----					
teste	4 ±1,08	7 ±1,58	8 ±2,12	14 ±2,54	16 ±2,04	13 ±1,55
C	8 ±1,52	8 ±1,45	10 ±1,54	15 ±1,08	18 ±2,61	17 ±1,08
P	8 ±0,78	10 ±2,14	15 ±3,14	20 ±2,54	18 ±3,45	21 ±2,36
C+P	12 ±2,56	13 ±3,02	18 ±4,18	28 ±3,19	22 ±5,18	25 ±3,14

teste = sem aplicação de calcário e de fósforo, C = com aplicação de calcário, P = com aplicação de fósforo, C+P = com aplicação de calcário e de fósforo.

teores de bases trocáveis do LR sob mata em relação ao TR sob mata, também evidenciam o elevado grau de intemperismo - lixiviação a que foi submetido o material de origem do LR.

A aplicação de calcário promoveu uma tendência de aumento de todas as frações de P inorgânico, principalmente do P-Ca em todos os solos, independente das condições de uso, porém, com efeito mais pronunciado no LR (Tabela 1.3). Comportamento semelhante tem sido observado por vários autores em diferentes classes de solo (Braga e Defelipo, 1972; Bahia Filho, 1987). A tendência de aumento do P-Fe e P-Al com a aplicação de calcário, não era esperada, uma vez que a elevação do pH do solo aumenta a solubilidade dessas frações de fósforo, aumentando deste modo, o P da solução do solo (Kamprath, 1977). Entretanto, uma calagem visando liberar o P

adsorvido seria inviável, uma vez que nestas condições, o pH deve ser elevado para 7.0 ou 8,0 para que uma quantidade significativa de P seja liberada dos compostos de ferro e mais ainda dos compostos de alumínio (Swerson, Cole e Sieling, 1949). Esta calagem elevada poderia alterar a disponibilidade de vários elementos no solo, principalmente os micronutrientes. Uma explicação para o aumento das formas de P-Fe e P-Al com a calagem é a dispersão dos vários compostos presentes no solo pela elevação do pH, expondo cargas elétricas positivas que adsorvem P, e que pode ser extraído pelos reagentes utilizados na determinação destas formas de fósforo.

A aplicação de P aumentou todas as frações de P inorgânico, principalmente na presença de calagem (Tabela 1.3). O P solúvel adicionado ao solo pode precipitar-se com íons alumínio, ferro ou cálcio presentes na solução do solo ou ser adsorvido na superfície das argilas cauliniticas ou óxidos de ferro e alumínio. Esta adsorção ocorre através de ligações covalentes, de alta energia, sendo que parte do fosfato adsorvido permanece por certo tempo na forma lábil, podendo retornar à solução do solo (Sayal e De Datta, 1991).

Os sistemas de uso, de forma geral, não alteraram de modo acentuado as formas de P-Fe, P-Al e P-Ca. Segundo Thomas e Peaslee (1973), somente a longo prazo as práticas de uso afetam estas formas de P inorgânico.

1.3.2 Fósforo orgânico total e fósforo orgânico na biomassa microbiana

Os maiores teores de P orgânico foram observados no LR sob mata (Tabela 1.4), possivelmente em função do maior teor de matéria orgânica deste solo (Tabela 1.1), ao passo que os menores teores foram encontrados na TR sob cultivo, solo este com o menor teor de matéria orgânica dentre os demais (Tabela 1.1). Nahas, Centurion e Assis (1994) encontraram correlação positiva e significativa entre os teores de matéria orgânica e P orgânico. O cultivo do solo reduz o teor de P orgânico pelo favorecimento da atuação dos microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica (Tate, 1984). Provavelmente, a falta de reposição de resíduos

TABELA 1.4. Fósforo orgânico total, P orgânico imobilizado na biomassa microbiana e atividade das fosfatases ácida e alcalina nos solos (média e desvio padrão).

	Solos					
	LR mata	LR pasto	LR cultivo	TR mata	TR pasto	TR cultivo
P orgânico total						
----- mg P/kg solo -----						
Teste	127 ±25,02	110 ±32,12	104 ±28,14	110 ±12,54	113 ±18,24	90 ±14,52
C	123 ±33,12	107 ±24,14	104 ±31,12	110 ±38,11	110 ±21,10	89 ±15,21
P	125 ±34,15	103 ±17,18	117 ±21,35	107 ±23,01	110 ±18,91	91 ±12,45
C+P	120 ±17,58	102 ±20,45	106 ±22,25	102 ±19,15	91 ±13,54	88 ±13,51
P orgânico na biomassa microbiana						
----- mg P/kg solo -----						
Teste	15 ±5,89	7 ±3,54	9 ±5,21	10 ±4,52	9 ±2,54	5 ±1,54
C	18 ±8,52	9 ±2,58	10 ±2,56	14 ±4,58	14 ±4,21	7 ±1,02
P	18 ±12,45	10 ±4,52	9 ±5,87	11 ±3,52	12 ±3,41	7 ±2,11
C+P	21 ±13,41	11 ±3,87	12 ±3,41	12 ±4,12	14 ±1,87	8 ±3,57
Fosfatase ácida						
----- µmol paranitrofenolfosfato/g hora -----						
Teste	650 ±58,02	468 ±45,12	385 ±54,78	552 ±45,12	443 ±28,45	402 ±51,45
C	802 ±87,41	644 ±71,12	423 ±56,85	575 ±43,14	443 ±45,23	467 ±23,52
P	849 ±78,41	440 ±36,42	378 ±23,52	596 ±25,87	443 ±33,15	419 ±48,13
C+P	713 ±45,63	496 ±52,01	397 ±28,11	504 ±38,03	455 ±25,58	416 ±58,47
Fosfatase alcalina						
----- µmol paranitrofenolfosfato/g hora -----						
Teste	136 ±12,63	133 ±12,45	88 ±15,42	90 ±21,01	98 ±13,52	89 ±11,21
C	123 ±25,33	143 ±11,54	88 ±11,25	98 ±14,25	99 ±15,12	109 ±25,41
P	155 ±12,13	123 ±14,13	144 ±23,81	142 ±25,14	114 ±15,18	109 ±13,12
C+P	188 ±21,12	206 ±21,03	159 ±25,54	152 ±24,54	143 ±21,05	126 ±13,14

teste = sem aplicação de calcário e de fósforo, C = com aplicação de calcário, P = com aplicação de fósforo, C+P = com aplicação de calcário e de fósforo.

orgânicos ao solo sob cultivo também possa contribuir para este comportamento. Além deste aspecto, as várias formas de P orgânico encontradas no solo diferem entre si quanto à facilidade de mineralização, sendo os fosfolípidios e os ácidos nucleicos mais facilmente mineralizáveis do que os fosfatos de inositol (Hawkes et al., 1984). A redução do P orgânico nas áreas cultivadas

em relação às áreas de mata dos solos do presente trabalho pode ser devida também as condições de uso, e à própria qualidade da matéria orgânica nestas condições.

Segundo Anderson e Flanagan (1989), a transformação de uma área de mata natural em agrícola altera a qualidade do material orgânico adicionado ao solo, sendo que a temperatura, a umidade do solo e os processos biológicos afetam a velocidade da decomposição da matéria orgânica do solo. Os resíduos com elevados teores de carboidratos solúveis e celulose são mais facilmente decompostos do que aqueles ricos em lignina e compostos aromáticos.

O P orgânico no LR sem calagem e sem P correspondeu a 13,39, 10,73 e 9,37% do P total deste solo quando sob mata, pastagem e cultivo, respectivamente. Na TR, estes percentuais equivalem a 11,96, 12,42 e 10,11% do P total nos sistemas de mata, pastagem e cultivo, respectivamente. Estes teores de P orgânico estão abaixo daqueles encontrados por Trasar Cepeda (1987), de cerca de 54,6%, em solos de regiões temperadas. O teor de P orgânico diminui mais rapidamente em solos de regiões tropicais do que em regiões temperadas, em função da maior velocidade de decomposição da matéria orgânica do solo (Anderson e Flanagan, 1989).

Uma tendência de efeito da calagem e da aplicação de P também foi verificada para a fração de P imobilizada na biomassa microbiana (Tabela 1.4), a qual é considerada a fração lábil da matéria orgânica do solo (Tate, 1994). Guerra et al. (1995) também verificaram aumento do conteúdo de P na biomassa microbiana com a aplicação de superfosfato. Verifica-se ainda na Tabela 1.4, que no LR sob mata, a quantidade de P imobilizada na biomassa microbiana foi relativamente superior à dos demais materiais de solo, possivelmente pela maior atividade de microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica. Esta maior taxa de decomposição se correlaciona positivamente com o conteúdo de P orgânico e P imobilizado na biomassa microbiana (Lopes-Hernandes e Ninõ, 1993). Também Brookes, Powson e Jenkinson (1982) encontraram uma relação linear entre o P da biomassa e a biomassa de carbono do solo, e ainda verificaram que a biomassa tendeu a ser maior em solos sob pastagem permanente do que

em solos agrícolas. No presente trabalho foi, verificada correlação positiva e significativa entre o P orgânico e o P imobilizado na biomassa microbiana (Tabela 1.6).

Há poucos estudos de campo sobre a influência das práticas culturais na mineralização do P orgânico ou no conteúdo de biomassa (Brookes, Powson e Jenkinson, 1982). A menor quantidade de P imobilizado na biomassa microbiana nos solos sob cultivo refletiu as mudanças na atividade biológica do solo decorrentes do seu uso, uma vez que a biomassa responde mais rapidamente a tais mudanças do que os parâmetros físico-químicos do solo (Powlson, Brookes e Christensen, 1987). Geraldles, Cerri e Feigl (1993) verificaram que a transformação de uma área de mata natural em pastagem, refletiu-se na biomassa microbiana, sendo que após quatro anos da instalação da pastagem a biomassa microbiana nesta condição foi maior do que a da mata, embora tenha declinado novamente após dez anos. No presente estudo, provavelmente os solos ainda não tenham atingido um estágio de estabilização que permita fazer estas comparações, embora observe-se uma tendência de que o P na biomassa microbiana seja maior sob mata, principalmente no LR (Tabela 1.4).

1.3.3 Atividade das fosfatases ácida e alcalina

A maior atividade das fosfatases ácida e alcalina, na ausência de calagem e de P, foi verificada no LR sob mata (Tabela 1.4). Esta maior atividade, provavelmente, está ligada aos maiores teores de matéria orgânica, P orgânico e P imobilizado na biomassa microbiana, e ao tipo de vegetação apresentado por este solo. Nahas, Centurion e Assis (1994) verificaram correlação positiva e significativa entre a matéria orgânica do solo e atividades das fosfatases ácida e alcalina. Cabe ressaltar que os solos sob cultivo estavam sem cobertura vegetal por ocasião da coleta das amostras de solo.

Verificou-se para os dois solos, independente do sistema de uso, um predomínio da fosfatase ácida em relação à alcalina. Rojo, Carcedo e Mateos (1990) também verificaram esta

tendência, em função de que a fosfatase ácida predomina em solos ácidos e a alcalina em solos alcalinos. No entanto, verificou-se maior atividade da fosfatase alcalina no LR sob mata do que nos demais materiais de solos (Tabela 4), apesar da maior acidez apresentada por este solo. Esta maior atividade pode estar ligada aos fatores que afetam a atividade biológica do solo, anteriormente citados.

A qualidade e a quantidade dos resíduos vegetais depositados no solo, as condições de uso e a aplicação de calcário e fertilizantes afetam a atividade das fosfatases (Herbien e Neal, 1990). A vegetação pode afetar a atividade das fosfatases tanto pela produção dessas enzimas pelas plantas e favorecimento da atividade microbiológica do solo, como pela deposição de resíduos vegetais que aumentam a matéria orgânica do solo. A matéria orgânica do solo além de aumentar a atividade dos microrganismos, protege a enzima da decomposição (Harrison, 1983).

A calagem aumentou a atividade das fosfatases, principalmente da alcalina (Tabela 1.4), possivelmente pela elevação do pH do solo favorecendo a atividade dos microrganismos produtores destas enzimas. Nahas, Centurion e Assis (1994) observaram correlação positiva e significativa entre a atividade das fosfatases ácida e alcalina e o pH do solo. A aplicação de calcário e de P diminuiu a atividade da fosfatase ácida em relação as amostras que receberam apenas calcário, exceto na TR sob pastagem. Esta diminuição da atividade da fosfatase ácida deve-se ao aumento da disponibilidade de P para as plantas e microrganismos responsáveis pela produção das fosfatases. Estas enzimas são produzidas quando os teores de P solúvel atingem níveis limitantes ao crescimento das plantas e de microrganismos (Nahas, Terenzi e Rossi, 1982). Desta forma, com o aumento do P disponível do solo pela calagem e aplicação de P, não haveria necessidade das fosfatases como mecanismo de aumentar a disponibilidade deste nutriente para as plantas e microrganismos, exceto quando o solo apresenta elevada capacidade de adsorção do elemento, o que contribui para baixar os níveis na solução do solo e então elevar a atividade de fosfatases, como no caso do solo LR.

1.3.4 Fósforo disponível pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina

Exceto no LR sob pastagem, os demais solos apresentaram baixos teores de P disponível pelos diferentes extratores, tanto na ausência quanto na presença de calagem (Tabela 1.5). Independente das condições de uso, o LR apresentou menores teores de P disponível pelos extratores testados em relação à TR. Os menores teores de P no LR são reflexo de sua maior capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAF) que, entre outros fatores, se deve ao e maior teor de ferro livre extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Tabela 1.1). A energia de adsorção de P nos solos mais argilosos é mais elevada, devido as próprias características do solo, acrescida do elevado grau de saturação dos sítios de troca aniônica. Desde modo, os extratores, como as plantas, extraem mais P nos solos arenosos do que nos argilosos (Holford e Mattingly, 1979).

O método ideal para a avaliação do P disponível para as plantas, seria aquele que não fosse influenciado por diferenças nas propriedades químicas e mineralógicas do solo (Kamprath e Watson, 1980). No entanto, tal extrator não existe. O que existe, são extratores que refletem em maior ou menor grau, o comportamento do P no solo, aferidos em estudos de correlação com a quantidade de P absorvida e a produção de matéria seca pelas plantas.

Quando se aplicou fósforo, ocorreu um aumento considerável dos teores de P disponível pelos extratores, porém houve uma tendência da calagem também aumentar os teores de P, independente da sua aplicação (Tabela 1.5). A elevação do pH dos solos para próximo de 6,0 pelo calcário aumenta a solubilidade dos vários compostos de P do solo e causa dessorção pela troca de ligantes (OH) e queda na energia de adsorção, aumentando a atividade de fosfatos em solução (Raij, 1991).

TABELA 1.5. Fósforo disponível pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina nos solos (média e desvio padrão).

	Solos					
	LR mata	LR pasto	LR cultivo	TR mata	TR pasto	TR cultivo
Mehlich 1						
----- mg P/kg solo -----						
teste	2 ±0,00	13 ±1,01	2 ±0,00	4 ±0,02	4 ±0,01	4 ±0,00
C	2 ±0,01	13 ±0,83	2 ±0,05	4 ±0,02	4 ±0,03	5 ±0,10
P	40 ±3,12	49 ±2,45	23 ±4,18	49 ±1,12	57 ±3,45	58 ±2,14
C+P	39 ±5,16	54 ±2,13	25 ±3,52	52 ±2,13	60 ±1,11	65 ±4,52
Mehlich 3						
----- mg P/kg solo -----						
teste	3 ±0,01	15 ±3,52	3 ±0,01	6 ±1,45	8 ±0,05	7 ±0,87
C	3 ±0,20	15 ±2,12	3 ±0,21	7 ±0,87	8 ±0,45	7 ±1,02
P	49 ±3,12	55 ±5,01	24 ±1,25	61 ±3,21	67 ±3,51	71 ±3,45
C+P	46 ±2,23	68 ±4,12	26 ±2,33	66 ±1,87	76 ±3,56	85 ±2,01
Resina						
----- mg P/kg solo -----						
teste	11 ±0,45	30 1,14	9 ±0,05	10 ±0,10	13 ±0,54	13 ±1,02
C	12 ±0,25	31 0,97	9 ±0,11	13 ±0,09	13 ±1,21	14 ±0,58
P	67 ±1,45	66 2,12	26 ±2,14	100 ±3,14	92 ±2,03	95 ±5,12
C+P	64 ±1,08	77 1,08	32 ±1,19	108 ±2,17	116 ±4,01	96 ±3,92

teste = sem aplicação de calcário e de fósforo, C = com aplicação de calcário, P = com aplicação de fósforo, C+P = com aplicação de calcário e de fósforo.

Os extratores M1 e M3 extraíram menores quantidades de P em relação à resina, provavelmente pelo fato dos extratores ácidos extraírem preferencialmente P-Ca, ao passo que a resina extrai as formas lábeis de P, sejam elas P-Al, P-Fe ou P-Ca (Raij, 1991). O pH próximo de 2,0 dos extratores ácidos é inadequado para a solubilização de P-Al e P-Fe, e é extremamente favorável à extração de P-Ca, mesmo em formas não lábeis (Raij, 1991). Como os teores de P dos solos são as formas predominantemente ligadas a ferro e alumínio (Tabela 1.3), a resina é então mais adequada para a avaliação do P disponível.

Os três extratores apresentaram correlações positivas e significativas com as formas de P inorgânico estudadas (Tabela 1.6), porém o extrator M1 apresentou o maior coeficiente de correlação com o P-Fe, enquanto a resina apresentou os maiores coeficientes com o P-Al e P-Ca.

TABELA 1.6. Coeficientes de correlação entre as formas de P no solo e atividade das fosfatases.

	P-Fe	P-Al	P-Ca	P-org	P-bio	P-M1	P-M3	P-Re	Acid.	Alc.
P-Fe	1,00	0,68*	-0,31	-0,06	0,26	0,80*	0,66*	0,77*	0,70*	0,72*
P-Al		1,00	0,75*	-0,38	-0,04	0,96*	0,94*	0,98*	-0,14	0,37
P-Ca			1,00	-0,59	-0,18	0,61*	0,60*	0,65*	-0,38	0,04
P-org				1,00	0,76*	-0,33	-0,35	-0,32	0,69*	0,20
P-bio					1,00	0,11	0,08	0,14	0,77*	0,45
P-M1						1,00	0,99*	0,97*	-0,08	0,49
P-M3							1,00	0,97*	-0,09	0,50
P-Re								1,00	-0,03	0,46
Acid.									1,00	0,42
Alc.										1,00

* significativo ao nível de 1% pelo teste de t.

P-Fe - P ligado a ferro; P-Al - P ligado a alumínio; P-Ca - P ligado a cálcio; P-org. - P orgânico; P-bio - P na biomassa microbiana; P-M1 - P extraído pelo Mehlich 1; P-M3 - P extraído pelo Mehlich 3; P-Re - P extraído pela resina; Acid. fosfatase ácida e Alc. fosfatase alcalina.

Considerando-se que em solos ácidos a neutros o P-Al é a fonte primária de P disponível para as plantas, juntamente com o P-Ca quando presente, os extratores que extraem estas formas de P fornecem uma boa estimativa do P disponível para as plantas (Kamprath e Watson, 1980). Neste caso, conforme anteriormente ressaltado, pode-se inferir que a resina é o extrator mais adequado para os solos estudados, porém, são necessários experimentos de correlação, utilizando-se de plantas, para que tal inferência seja confirmada.

1.4 CONCLUSÕES

A classe de solo foi o fator que mais influenciou as formas de P inorgânico, sendo que no Latossolo Roxo, a forma de P ligado ao ferro predominou sobre as formas de P ligado ao alumínio e ao cálcio.

O fósforo orgânico total, o P orgânico na biomassa microbiana e a atividade das fosfatases foram afetadas pelas condições de uso, sendo que em solos não perturbados e mais ricos em matéria orgânica, ocorreram maiores teores de formas orgânicas de P e atividade das fosfatases.

Houve tendência de redução da atividade da fosfatase ácida em função da aplicação de calcário e fósforo.

O P disponível pelos extratores foi afetado pela classe de solo. No Latossolo Roxo as quantidades de P disponíveis determinadas pelos diferentes extratores foram menores do que na Terra Roxa Estruturada. Os extratores ácidos extraíram menores quantidades de P que a resina.

O fósforo extraído pela resina apresentou maior coeficiente de correlação com as formas de P ligadas ao alumínio e ao cálcio.

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AE, N.; ARIHARA, J.; OKADA, K.; YOSHIHARA, T.; JOHANSEN, C. Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian subcontinent. *Science*. Washington. v.248, p.477-480, 1990.
- ANDERSON, J.M.; FLANAGAN, P.W. Biological processes regulating organic matter dynamics in tropical soils. In: COLEMAN, D.; OADES, J.; UEHARA, G. (ed). *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu, Hawaii: NITAL Project. 1989. 249p.
- ANDERSON, T.H.; INGRAN, J.S.I. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. Wallingford: CAB International, 1992. 221p.
- BAHIA FILHO, A.F.C. **Fósforo em latossolos do estado de Minas Gerais: intencidade, capacidade tampão e quantidade de fósforo, fósforo "disponível" e crescimento vegetal**, UFV: Viçosa, 1975. 69p. (Tese - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- BARBOSA FILHO, M.P.; KINJO, T.; MURAOKA, T. Relações entre fósforo "extraível", frações inorgânicas de fósforo, calagem e tempo de incubação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.11, n.2, p.147-155, maio/ago 1987.
- BRAGA, J.M. **Métodos de avaliação da fertilidade do solo: trabalhos de laboratório**. Viçosa: UFV. Imprensa universitária, 1980. 83p.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Relações entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material vegetal em solos sob vegetação de cerrado: I-trabalho de laboratório. *Revista Ceres*, Viçosa, v.19, n.102, p.124-136, abr. 1972.
- BRASIL, E.C. **Disponibilidade de fósforo em solos da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 160p. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

- BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S.; JENKINSON, D.S. measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.14, n.3, p.319-329, Mar 1982.
- CHANG, S.C.; JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, Baltimore, v.84, n.1, p.133-144. 1957.
- DUXBURY, J.; SMITH, S.; DORAN, J.; JORDAN, C.; SZOTT, L.; VANCE, E. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.; OADES, J.; UEHARA, G. (ed). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu, Hawaii: NITAL Project. 1989. p.33-68.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS, 1979. n.p.
- 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.
- GERALDES, A.P.A.; CERRI, C.C.; FEGL, B.J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.55-60, jan/abril 1993.
- GRISI, B.M. Biomassa e necessidades energéticas das populações microbianas de solo. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.R.; FREITAS, S.S. **A responsabilidade social da ciência do solo**, Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p.353-364.
- GUERRA, J.G.M.; FONSECA, M.C.; ALMEIDA, D.L.; De-POLLI, H; FERNANDES, M.S. Conteúdo de fósforo da biomassa microbiana de um solo cultivado com *Brachiaria decumbens* Stapf. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.30, n.4, p.543-551, abr. 1995.
- GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; RENÓ, N.B.; MACHADO, R.A.F.; SILVA, M.L.N. Adsorção de fósforo em solos de várzea do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 1996 (no prelo).
- JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil measurement and turnover. In: STEVEN, F.J. **Nitrogen in agricultural Soils**. Madison: ASA/CSSA/SSA, 1982. p.229-252.
- HARRISON, A.F. Relationship between intensity of phosphatase activity and physico-chemical properties in woodland soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.15, n.1, p.93-99, Jan 1983

- HAWKES, G.E.; POWSON, D.S. RANDALL, E.W.; TATE, K.R. A ^{31}P -nuclear magnetic resonance study of phosphorus species in soil from long continued field experiments. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.35, n.1, p.35-45, Mar 1984.
- HERBIEN, S.A.; NEAL, J.L. Soil pH and phostase activity. **Communion in Soil Science and Plant Nutrition**, New York, v.21, n.5-6, p.436-456, 1990.
- HOLFORD, I.C.R. & MATTINGLY, G.E.G. Phosphate adsorption and availability of phosphate. **Plant and Soil**, The Hague, v.44, n.1-3, p.377-389, 1977.
- HSU, P.H. Aluminium oxides and oxyhydroxids. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. ed. **Minerals in soil enviroments**. Madison: Soil Science Society of American, 1977. p. 99-144.
- KAMPRATH, E.J. Phosphorus fixation and avaibility in highly weathered soils. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO bases para a utilização agropecuária, 4, Brasília, 1976. **Anais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1977 p.333-347.
- KAMPRATH, E.J.; WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soil. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1980. p.433-470.
- LOPES-HERNANDES, D.; NIÑO, M.; Phosphorus mineralization during laboratory incubation in soils derived from different textural parent materials. **Geoderma**, Amsterdam, v.56, n.1-4, p.527-537, Mar 1993.
- MACHADO, M.I.C.S.; BRAUNER, J.L. VIANNA, A.C.T. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.3, p.331-336, set./dez. 1993.
- MAGID, J. Vegetation effects on phosphorus fractions in set-aside soils. **Plant and Soil**, The Hague, v.149, n.1-2, p.11-119, Fev 1993.
- MARQUES JUNIOR, J.; CURI, N.; LIMA, J.M. Evolução diferenciada de Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro em função da litologia gnáissica na região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas. v.16, n.2, p.235-240, mai./ago. 1992.
- MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphurus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. **Communication in Soil Science and Plant Analisys**, New York, v.9, p.477-492, 1978.

- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant. a modification of Mehlich 2 extractant. **Communication in Soil Science and Plant analysis**, New York, v.15, p.1409-1416. 1984.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays Clay Minerals**, Clarkson, v.7, n.2, p.317-327, 1960.
- NAHAS, E.; CENTURION, J.F.; ASSIS, L.C. Efeito das características químicas dos solos sob os microrganismos solubilizadores de fosfatos e produtores de fosfatases. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas. v.18, n.1, p.43-48, jan/abr. 1994.
- NAHAS, E.; TERENCE, H.F.; ROSSI, A. Effect of carbon source and pH on the production and secretion of acid phosphatase (EC. 3.1.3.2) in *Neurospora crassa*. **Journal General Microbiology**, London, v.128, n.9, p.2017-2021, Sep. 1982.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.19, n.1, p.59-164., Jan 1987.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 170p.
- ROJO, M.J.; CARCEDO, S.G.; MATEOS, M.P. Distribution and characterization of phosphatase and organic phosphorus in soil fractions. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.22, n.2, p.169-174, Mar 1990.
- SAYAL, S.; De DATTA, S.; Chemistry of phosphorus transformation in soil. **Advances in Soil Science**, v.16, p.2-120, 1991.
- STEWART, J.; TIESSEN, H. Dynamics of soil organic phosphorus. **Biogeochemistry**, Washington, v.4, p.41-60, 1987.
- SWENSON, R.M., COLE, C.V.; SIELING, D.H. Fixation of phosphorus by Fe and Al and replacement by organic and inorganic ions. **Soil Science**. Baltimore, v.67, n.1, p.3-22, Jan 1949.
- TATE, K. The biological transformation of P in soil. **Plant and Soil**, The Hague, v.76, n.1-3, p.245-256, Jan 1984.

- THOMAS, G.W.; PEASLEE, D.E. Testing soils for phosphorus. In: WALSH, L.W.; BEATON, J.D., ed. **Soil testing and plant analysis**. Madison: SSSA, 1973, p.15-29.
- TIESSEM, H.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.48, n.2, p.853-858. Mar/April 1984.
- TIESSEM, H.; STEWART, J.W.B.; MOIR, J.O. Changes in organic and inorganic phosphorus composition of two grassland soils and their particle size fractions during 60-70 years of cultivation. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.44, n.1-4, p.815-823. Dec. 1983.
- TRASAR CEPEDA, M.C.; GILSOTRES, F.; GUITTIAN OJEA, F. Cantidades y formas de fosforo en suelos naturales de Galia (Nw. Spain). **Anales Edafologia y Agrobiologia**, Madrid, v.46, p.1361-1373, 1987.
- UDO, E.J.; DAMBO, V.I. Phosphorus status of the nigerian coastal plain sands. **Journal Agriculture Science**, Cambridge, v.93, n.2, p.281-289, Apr. 1979.
- VETORI, L. **Métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim técnico, 7).
- WALKER, T.W.; ADAMS, A.F.R. Studies on organic matter. 2. Influence of increased leaching at various stages of weathering in levels of carbon, nitrogen, sulphur and organic and total phosphorus. **Soil Science**, Baltimore, v.87, n.1, p.1-10, Jan 1956.
- WALKER, T.W.; SYERS, J.K. The fate of phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**, Amsterdam, v.15, n.1, p.1-19, May 1976.

2 CAPÍTULO II

FÓSFORO E ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA EM PLANTAS DE FEIJOEIRO

RESUMO: Conduziu-se um experimento em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, usando dois solos (Latosolo Roxo e Terra Roxa Estruturada), sob três condições de uso (mata, pastagem e cultivo), e sob duas práticas culturais de correção da fertilidade do solo (calagem e fertilização fosfatada), tendo como objetivo 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. As amostras dos solos estudados foram coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade e foram incubadas em vasos de três dm³ com CaCO₃:MgCO₃ na relação Ca:Mg de 4:1 para elevar o pH dos solos a 6,5. Após 15 dias, aplicou-se aos vasos 250 mg de P/kg e incubou-se novamente por um período de 180 dias. Após este período, os solos foram analisados para P inorgânico, P orgânico total, P orgânico na biomassa microbiana, atividade das fosfatases ácidas e alcalinas e P disponível pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina, e cultivou-se plantas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca-MG) por 30 dias a partir da emergência das plântulas. No final dos 30 dias, amostras de folhas foram coletadas para a análise da fosfatase ácida foliar "in vivo" e frações de fósforo. O restante do material vegetal foi seco em estufa para determinação de matéria seca e P total da parte aérea.

Uma maior produção de matéria seca e uma maior eficiência de utilização de P foi verificada nas plantas cultivadas no LR, independente das condições de uso e das práticas culturais. As plantas cultivadas na TR apresentaram maiores teores de P inorgânico (Pi) e P total solúvel em ácido (Pts), sendo que o acúmulo destas frações de P aumentou com a aplicação de calcário e de fósforo. As plantas cultivadas na TR apresentaram ainda, maior acúmulo de Pi em relação ao Pts do que as plantas cultivadas no LR. A atividade da fosfatase ácida foliar "in vivo" não apresentou um padrão de comportamento em função dos solos, condições de uso e práticas culturais de correção da fertilidade do solo. As formas de P inorgânico do solo e o P disponível pelos extratores correlacionaram-se significativa e positivamente com os parâmetros de planta avaliados.

2.1 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, causado pela maior ou menor disponibilidade do nutriente no solo, processo este governado pela relação entre os fatores intensidade (I), quantidade (Q), capacidade tampão (Q/I) e difusão de P no solo.

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 e 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 governam 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).

Para o estabelecimento dos processos metabólicos, é importante que se considere a alocação interna de nutriente e sua utilização no metabolismo e crescimento (Gerloff e Gabelman, 1983). Desta maneira, alterações na absorção de fósforo em função da maior ou menor facilidade do solo em suprir o nutriente à planta, levariam à mudanças nas formas de reserva do P na planta. Em condições de maior disponibilidade do nutriente, ocorre seu acúmulo na forma inorgânica

(Pi), compartimentalizado a nível de vacúolo, ou via síntese de compostos de reserva como polifosfatos e ácido fítico. 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 o P presente nos tecidos vegetais em diferentes espécies de plantas, altera o nível da fosfatase ácida, sendo que o aumento da atividade desta enzima tem sido verificado quanto a planta encontra-se sob condições de deficiência de P (Garcia e Ascencio, 1992). Desde modo, a atividade da fosfatase ácida no tecido vegetal tem sido investigada como parte integral da resposta da planta à deficiência de P (Ascencio, 1994). Antibus e Lesica (1990) relataram que a atividade da fosfatase ácida correlacionou-se positivamente com o conteúdo de P vascular de epífitas. Silva e 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 ser devido a um incremento na “síntese de novo” da enzima, cuja formação é inibida pelo íon fosfato por um mecanismo de retroinibição (Reid e 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, devido às várias formas em que o nutriente pode se encontrar no tecido vegetal, o conteúdo nem sempre reflete o estado nutricional da planta.

Também a forma em que o nutriente se encontra no solo pode afetar a quantidade absorvida pelas plantas. Com o desenvolvimento do método do fracionamento de P por Chang e Jackson (1957), tornou-se possível o estudo das relações entre as formas de P do solo e o crescimento das plantas. Com a informação de qual forma de P do solo é preferencialmente

absorvida pelas plantas é possível selecionar o extrator que melhor reflete o comportamento da planta em determinado solo. Segundo Kamprath e Watson (1980), em solos ácidos ou neutros, o P ligado ao alumínio é a principal fonte de P absorvida pelas plantas, juntamente com o P ligado a cálcio quando presente. Deste modo, extratores que extraem preferencialmente essas formas de P poderão dar uma boa estimativa do P disponível para as plantas em solos ácidos ou neutros.

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.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Solos

Os solos utilizados são os mesmos descritos no item 3.2.1 do Capítulo I.

2.2.2 Características químicas, físicas e mineralógicas dos solos estudados

As características química, físicas e mineralógicas dos solos estudados estão apresentadas no Capítulo I

2.2.3 Incubação dos solos com calcário e fósforo e cultivo do feijoeiro

Após a incubação dos solos com calcário e P, descrito no item 3.2.3 do Capítulo I, cultivou-se plantas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca-MG) por 30 dias a partir da emergência das plântulas. As sementes foram imersas previamente em solução de hipoclorito de sódio a 0,4% durante cinco minutos, após o que quatro sementes foram semeadas por vaso. Cinco dias após a emergência, realizou-se um desbaste deixando-se duas plântulas por vaso.

Foi realizada uma adubação em cobertura, com 40 mg de N e 30 mg de K/kg de solo aos 20 dias após a emergência. Durante o período experimental, 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 ao acaso, arranjado num esquema fatorial 2x3x4 (dois solos: Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada; três condições de uso: mata, pastagem e cultivo e, duas práticas culturais de correção da fertilidade do solo: aplicação de calcário e de P, que combinadas geraram quatro tratamentos. Os quatro tratamentos consistiram de: sem aplicação de calcário e de fósforo (teste), com aplicação de calcário (C), com aplicação de fósforo (P) e com aplicação de calcário e de fósforo (C+P), com três repetições.

2.2.4 Avaliação do experimento

As formas orgânicas e inorgânicas, a atividade das fosfatases ácida e alcalina, e o P disponível pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina foram determinados conforme descrito no item 3.2.4 do Capítulo I.

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 analisadas para fósforo inorgânico solúvel em ácido (Pi), fósforo total solúvel (Pts) e por diferença fósforo orgânico (Po), conforme metodologia de Smille & Krotkov (1960) e Hogue et al. (1970), modificada por Martinez (1992). No tecido fresco coletado, a atividade da fosfatase ácida foi imediatamente quantificada conforme metodologia de Silva e 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^o 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 e Glass (1981) definido pela expressão $E = W/C$, 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.

2.2.5 Análises estatísticas

A partir dos valores de produção de matéria seca do feijoeiro foram efetuadas as análises de variância e as médias foram comparadas por intermédio de contrastes testados pelo teste de Scheffé.

Os contrastes de 1 a 6 foram definidos para comparar as práticas culturais de correção da fertilidade do solo. Os contrastes de 7 a 9 foram definidos para comparar as diferentes condições de uso dos solos estudados e o contraste 10 foi escolhido para comparar as classes de solo.

Contrastes:

$$Y_1 = X_1 - X_2 + 0X_3 + 0X_4$$

$$Y_2 = X_1 + 0X_2 - X_3 + 0X_4$$

$$Y_3 = X_1 + 0X_2 + 0X_3 - X_4$$

$$Y_4 = 0X_1 - X_2 - X_3 + 0X_4$$

$$Y_5 = 0X_1 - X_2 + 0X_3 - X_4$$

$$Y_6 = 0X_1 + 0X_2 - X_3 - X_4$$

$$Y_7 = Z_1 - Z_2 + 0Z_3$$

$$Y_8 = Z_1 + 0Z_2 - Z_3$$

$$Y_9 = 0Z_1 + Z_2 - Z_3$$

$$Y_{10} = W_1 - W_2$$

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.

Para as frações de fósforo e atividade da fosfatase ácida "in vivo" no tecido vegetal foram calculados a média e o desvio padrão. As variáveis estudadas foram correlacionadas entre si e com as variáveis estudadas no Capítulo 1, através de correlações de Pearson.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

As plantas de feijoeiro responderam a aplicação de calcário e de P quanto a produção de matéria de seca, exceto para a produção de matéria seca de raiz no tratamento com calagem (Tabela 2.1). A maior produção foi obtida pela combinação calcário e P, como pode ser verificado

TABELA 2.1. Estimativas dos contrastes para produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), raízes (MSRA) e total (MSTOT) das plantas de feijoeiro cultivadas em dois solos sob diferentes condições de uso, submetidos à calagem e à aplicação de P.

Contrastes	Estimativas		
	MSPA	MSRA	MSTOT
testexC	-0,163**	-0,013 ^{NS}	-0,398**
testexP	-3,771**	-0,453**	-4,227**
testexC+P	-4,392**	-0,923**	-6,599**
CxP	-3,608**	-0,439**	-3,528**
CxC+P	-4,229**	-0,909**	-6,172**
PxC+P	-0,621**	-0,469**	-2,343**
mataxpasto	-3,931**	-0,589**	-3,770**
mataxcultivo	-2,0488**	-0,353**	-1,474**
pastoxcultivo	1,888**	0,236**	2,296**
LRxTR	1,081**	0,323**	2,143**

teste = sem calagem e sem P, C = com calagem, P = com fósforo, C+P = com calagem e com fósforo. ** e ^{NS} - significativo a 1% e não significativo respectivamente (teste de Scheffé).

pelas diferenças significativas entre os contrastes que comparam as práticas de correção da fertilidade do solo (Tabela 2.1) e pela produção média apresentada na Tabela 2.2.

TABELA 2.2. Produção 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.

	Solos					
	LR mata	LR pasto	LR cultivo	TR mata	TR pasto	TR cultivo
	Matéria seca da parte aérea					
	g/vaso					
teste	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
	Matéria seca da raiz					
	g/vaso					
teste	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
	Matéria seca total					
	g/vaso					
teste	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

teste = sem aplicação de calcário e de fósforo, C = com aplicação de calcário, P = com aplicação de fósforo, C+P = com aplicação de calcário e de fósforo.

As plantas cultivadas nos solos sob pastagem apresentaram maior produção de matéria seca do que aquelas cultivadas nos solos sob mata e sob cultivo, sendo que a menor produção foi verificada nos solos sob mata (Tabelas 2.1 e 2.2) nos dois solos. A maior produção de matéria

seca foi obtida nas plantas cultivadas no LR em comparação ao TR (Tabelas 1 e 2), indicando que nesta fase do ciclo fisiológico as plantas de feijoeiro apresentam um melhor crescimento quando cultivadas em solos de maior índice tampão de P.

Considerando-se que o P é um dos nutrientes que mais afeta o desenvolvimento do sistema radicular (Clarkson, 1967), a menor produção de raízes pelas plantas de feijoeiro na TR pode estar associada à maior disponibilidade de P neste solo (Tabela 1.4, Capítulo I); neste caso haveria menor proliferação de raízes pelas plantas de feijoeiro para aquisição do nutriente.

A maior eficiência de utilização do P absorvido pelas plantas foi verificada no LR (Tabela 2.3), exceto sob mata e na ausência de calagem, onde o Al^{+3} pode ter prejudicado o crescimento das plantas. 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; Bahia Filho, 1982). Este comportamento também explica porque um solo com maior capacidade tampão de P apresenta menor taxa de recuperação do P aplicado, em comparação com o solo de menor capacidade tampão (Muniz et al., 1985). Pode-se inferir ainda a importância de se utilizar, em solos com maior capacidade tampão de P, espécies ou genótipos mais eficientes em absorver e/ou utilizar P.

Correlação positiva e significativa foi obtida entre a eficiência de utilização e a produção de matéria seca total (Tabela 2.5), sugerindo que as plantas de feijoeiro são mais eficientes em utilizar P quando cultivadas em solos com maior índice tampão de P. Pode-se afirmar também que o índice de eficiência de utilização de P, da maneira como obtido neste trabalho, é 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.

TABELA 2.3. Eficiência de utilização⁽¹⁾ de P por plantas de feijoeiro cultivadas em dois solos sob diferentes condições de uso, submetidos à calagem e à aplicação de P.

	Solos					
	LR mata	LR pasto	LR cultivo	TR mata	TR pasto	TR cultivo
	Eficiência de utilização ⁽¹⁾					
teste	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

teste = sem calagem e sem P, C = com calagem, P = com fósforo, C+P = com calagem e com fósforo.

⁽¹⁾ Eficiência de utilização = [(matéria seca da parte aérea)]/[(conteúdo de P na parte aérea/matéria seca da parte aérea)]

Quando não se aplicou P, as concentrações deste nutriente na parte aérea das plantas de feijoeiro foram praticamente semelhantes, sendo que com a aplicação de fósforo, a concentração deste nutriente foi menor no LR em comparação com a TR (Tabela 2.4), não acompanhando a sua 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, podendo isto inclusive levar à toxicidade (Grundon, 1972). A maior disponibilidade do P aplicado nos solos mais arenosos, como no caso da TR, poderia também facilitar a absorção excessiva do nutriente. Segundo Rajj (1991), apenas nas concentrações correspondentes às deficiências leves é que ocorre uma relação nítida entre produção e concentração dos nutrientes, isto é, até ter atingido a concentração crítica. Acima disso, o aumento do fornecimento não mais corresponde ao aumento de concentração ou de crescimento, representando um consumo de luxo. 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 (Kamprath, 1977).

TABELA 2.4. Concentração de fósforo e P acumulado 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 e desvio padrão).

	Solos					
	LR mata	LR pasto	LR cultivado	TR mata	TR pasto	TR cultivado
	Concentração de P na parte aérea					
	----- % -----					
teste	0,11 ±0,009	0,19 ±0,001	0,16 ±0,008	0,13 ±0,005	0,13 ±0,003	0,16 ±0,006
C	0,17 ±0,002	0,21 ±0,009	0,19 ±0,011	0,17 ±0,005	0,17 ±0,008	0,19 ±0,007
P	0,20 ±0,020	0,32 ±0,002	0,30 ±0,008	0,39 ±0,012	0,39 ±0,003	0,55 ±0,010
C+P	0,37 ±0,011	0,31 ±0,012	0,35 ±0,009	0,45 ±0,026	0,45 ±0,030	0,58 ±0,031
	P acumulado na parte aérea					
	----- mg/vaso -----					
teste	0,17 ±0,00	13,93 ±3,14	3,58 ±0,14	0,91 ±0,00	0,94 ±0,01	1,89 ±0,58
C	1,41 ±0,15	17,63±5,04	3,86 ±0,22	1,39 ±0,06	1,68 ±0,35	2,43 ±1,01
P	1,00 ±0,10	27,74±2,05	23,43 ±3,52	23,95 ±2,34	25,97 ±3,58	28,38 ±4,18
C+P	35,82 ±5,08	30,60 ±2,87	30,56 ±6,12	31,73 ±3,21	32,63 ±6,21	29,93 ±5,01

teste = sem calagem e sem P, C = com calagem, P = com fósforo, C+P = com calagem e com fósforo.

Na ausência de aplicação de P, a quantidade acumulada deste nutriente na parte aérea foi maior no LR, com exceção do LR sob mata, pelas razões anteriormente citadas, evidenciando uma maior taxa de reposição de P em solução nos solos de maior capacidade tampão de P. Em função das maiores concentrações de P verificadas nas plantas cultivadas na TR quando se aplicou P, as quantidades acumuladas deste nutriente na parte aérea foram praticamente

semelhantes para os dois solos (Tabela 2.4), apesar da maior produção de matéria seca ter ocorrido no LR (Tabela 2.2). A produção de matéria seca correlacionou-se positiva e significativamente com a concentração e conteúdo de P na parte aérea do feijoeiro (Tabela 2.5).

TABELA 2.5. Coeficientes de correlação entre os parâmetros de planta avaliados.

	MSA	MSR	MST	COC	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*
CNC				1,00	0,87**	0,93**	0,91**	0,70*	0,32	0,22
CNT					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

** e *, significativo ao nível de 1 e 5% , respectivamente, pelo teste de T.

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 e ASE - atividade da fosfatase ácida foliar; EFU - eficiência de utilização.

É interessante observar que a calagem aumentou a concentração e a quantidade acumulada de P na parte aérea, tanto na ausência quanto na presença de P, para os dois solos estudados. Em contrapartida, a eficiência de utilização na presença de P foi maior na ausência de calagem, à exceção do LR sob mata, possivelmente pelo fato da calagem ter aumentado a disponibilidade de P para às plantas de feijoeiro.

2.3.2 Frações fosfatadas

A classe de solo, a calagem e a aplicação de P exerceram influência sobre a distribuição das frações fosfatadas nas folhas das plantas de feijoeiro (Tabela 2.6).

As folhas do feijoeiro cultivado na TR apresentaram teores mais elevados de P_t (P total solúvel em ácido) e P_i (P inorgânico), independentemente do sistema de manejo e das práticas culturais. O fósforo orgânico apresentou pouca variação entre os tratamentos estudados, exceto no LR sob mata, onde essa fração teve um comportamento distinto daquela dos demais tratamentos.

A calagem e a aplicação de P promoveram acentuado incremento nos teores das frações de P presentes nos tecidos foliares. O maior acúmulo de P_i, fração fosfatada de reserva, sem função metabólica imediata (Bielecki, 1973), verificado nas plantas cultivadas na TR, provavelmente tenha contribuído neste caso para a maior concentração de P e menor eficiência de utilização do nutriente. Variações na concentração de P_i implicam em significativas variações na concentração de P total (Fabres et al., 1987). Este comportamento pode também ser responsável pela menor produção de biomassa pelas plantas de feijoeiro na TR.

Algumas características dos solos associadas ao índice tampão de P podem ter influenciado esta concentração, como indicado pelos resultados do presente trabalho. Fernandes, Furtini Neto e Faquin (1995) verificaram que as plantas de feijoeiro apresentaram maior nível crítico de P, maior conteúdo de P_i e menor eficiência de utilização de P quando cultivadas em Latossolo Vermelho-Escuro do que em Latossolo Roxo, este último mais argiloso do que o Latossolo Vermelho Escuro. Desse modo, para uma melhor interpretação dos resultados de análise foliar, estas variações devem ser consideradas.

TABELA 2.6. Fósforo 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 e desvio padrão).

	Solos					
	LR mata	LR pasto	LR cultivo	TR mata	TR pasto	TR cultivo
P total solúvel em ácido						
----- µg P/g matéria fresca -----						
Teste	19,0 ±3,0	24,5 ±2,5	21,3 ±2,4	36,3 ±4,0	43,6 5,2	38,5 ±4,52
C	29,5 ±5,0	34,2 ±3,4	25,1 ±3,2	38,6 ±3,1	43,3 8,7	44,7 ±2,05
P	77,1 ±12,2	83,3 ±9,4	79,0 ±5,1	166,1 ±24,0	185,3 25,2	174,2 ±16,89
C+P	96,3 ±10,5	92,0 ±11,1	104,8 ±6,9	172,5 ±15,2	192,0 ±31,0	184,8 ±21,15
P inorgânico						
----- µg P/g matéria fresca -----						
Teste	16,1 ±2,5	16,3 ±3,5	12,3 ±3,5	28,1 ±3,21	32,9 ±4,8	29,3 ±4,0
C	14,3 ±3,4	18,4 ±4,5	17,4 ±2,8	34,1 ±2,89	36,0 ±5,1	34,7 ±3,5
P	49,6 ±12,5	72,6 ±14,21	61,6 ±12,5	131,3 ±21,1	151,4 ±16,2	154,4 ±21,2
C+P	54,5 ±12,4	73,6 ±6,5	84,0 ±11,0	150,7 ±17,1	177,7 ±28,1	155,2 ±18,7
P orgânico						
----- µg P/g matéria fresca -----						
Teste	2,8 ±0,6	8,2 ±2,4	9,0 ±1,8	8,2 ±1,1	10,6 ±2,4	9,2 ±1,5
C	15,2 ±1,5	15,8 ±2,4	7,7 ±0,6	4,5 ±1,5	7,3 ±1,5	10,0 ±2,8
P	27,4 ±6,4	10,7 ±2,1	17,4 ±5,4	34,8 ±5,4	33,9 ±6,8	19,7 ±8,1
C+P	41,8 ±7,2	18,3 ±4,8	20,7 ±4,1	21,7 ±4,2	14,3 ±4,1	29,6 ±7,9

teste = sem aplicação de calcário e de fósforo, C = com aplicação de calcário, P = com aplicação de fósforo, C+P = com aplicação de calcário e de fósforo.

Verifica-se na Tabela 2.7 que a participação do Pi em relação ao P_{ts} foi maior nas plantas cultivadas na TR do que no LR, ao passo que a participação do Po (P orgânico) em relação ao P_{ts} foi maior no LR. Segundo Fabres et al. (1987), os teores de Pi são mais variáveis do que os de Po com a disponibilidade do P do meio de cultivo. O maior acúmulo de Pi, sem função metabólica imediata para a nutrição da planta, em relação ao P_{ts}, explica a menor eficiência de

utilização e menor produção de biomassa observadas nas plantas cultivadas na TR em comparação àquelas cultivadas no LR.

TABELA 2.7. Participação do Pi e do Po em relação ao Pts.

Frações fosfatadas	Solos					
	LR mata	LR pasto	LR cultivo	TR mata	TR pasto	TR cultivo
Pi	60,65 ⁽¹⁾	77,31	76,11	83,23	85,72	84,47
Po	39,64 ⁽²⁾	22,69	23,88	19,77	14,28	15,53

⁽¹⁾ $(\sum Pi / \sum Pts)100$; ⁽²⁾ $(\sum Po / \sum Pts)100$

A maior concentração de P verificada nas plantas cultivadas na TR, quando se aplicou P ao solo deve-se, principalmente, ao maior conteúdo de Pi. Desta forma, a medida da concentração crítica seria superestimada em solos menos tamponados, ao incluir o Pi na estimativa de uma concentração metabólica crítica e mais próxima desta, ou real, naqueles solos mais tamponados em que a contribuição de Pi deve ser bem menor ou talvez insignificante (Muniz et al., 1985).

2.3.3 Atividade da fosfatase ácida foliar

A atividade "in vivo" da fosfatase ácida nos tecidos foliares não apresentou um padrão de comportamento consistente em função dos tratamentos estudados (Tabela 2.8). Era esperado um aumento da atividade da fosfatase ácida na ausência de aplicação de P, uma vez que a deficiência de P aumenta a atividade da fosfatase devido ao incremento na 'síntese de novo' da enzima (Reid e Bielecki, 1970).

TABELA 2.8. 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 e desvio padrão).

	Solos					
	LR mata	LR pasto	LR cultivo	TR mata	TR pasto	TR cultivo
	Fosfatase ácida foliar					
	----- $\mu\text{mol para nitrofenolfosfato/g hora}$ -----					
teste	32,3 \pm 3,2	34,4 \pm 15,1	38,7 \pm 12,4	38,9 \pm 11,2	39,5 \pm 8,4	41,4 \pm 5,4
C	37,1 \pm 15,1	38,1 \pm 14,2	35,9 \pm 11,8	29,6 \pm 5,4	36,5 \pm 11,2	42,2 \pm 8,4
P	36,6 \pm 14,2	42,6 \pm 8,4	39,5 \pm 8,1	44,1 \pm 8,7	36,4 \pm 9,8	37,5 \pm 3,4
C+P	41,0 \pm 12,8	46,4 \pm 11,2	41,3 \pm 8,4	39,9 \pm 15,2	35,5 \pm 14,5	40,9 \pm 5,8

teste = sem aplicação de calcário e de fósforo, C = com aplicação de calcário, P = com aplicação

de fósforo, C+P = com aplicação de calcário e de fósforo.

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 e Ascencio (1994) em extratos de raízes de feijoeiro, tendo este fato sido 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 início do estresse metabólico de P devem ser considerados (Ascencio, 1994) para que a atividade da fosfatase seja usada como uma ferramenta de diagnose da deficiência de P nas plantas. Cabe ressaltar que quando da determinação da atividade da fosfatase, as plantas de feijoeiro já se mostravam seriamente afetadas pela ausência de P, mostrando inclusive sintomas de deficiência nos tratamentos que não receberam este nutriente, o que pode ter contribuído para estes resultados. A atividade da fosfatase

correlacionou-se positiva e significativamente com a produção de matéria seca total. Também Silva e Basso (1993) verificaram correlações positivas e significativas entre a atividade da fosfatase ácida "in vivo" com a produção de matéria seca e P acumulado em folhas de cana-de-açúcar.

2.3.4 Correlações entre os parâmetros de solo e de planta

As formas de P-Fe, P-Al e P-Ca correlacionaram-se positiva e significativamente com os parâmetros de planta avaliados (Tabelas 2.9 e 2.10), exceto com a fosfatase ácida foliar no solo TR, sugerindo que estas formas de P podem ser consideradas disponíveis para as plantas.

TABELA 2.9. Coeficientes de correlação entre os parâmetros de solo e planta para o Latossolo Roxo.

	MSA	MSR	MST	CNC	CNT	Pts	Pi	Po	ASE	EFU
P-Fe	0,57*	0,54*	0,82*	0,88**	0,76*	0,98**	0,96**	0,66*	0,72*	0,25
P-Al	0,54*	0,47*	0,77*	0,82*	0,71*	0,96**	0,94**	0,62*	0,77*	0,21
P-Ca	0,48*	0,60*	0,67*	0,67*	0,53*	0,62*	0,68*	0,21	0,54*	0,38
P-org	-0,50*	-0,55*	-0,43	-0,31	-0,39	-0,10	-0,22	0,27	-0,53*	-0,59*
P-bio	-0,27	-0,39	-0,10	-0,09	-0,06	0,26	0,08	0,65*	-0,05	-0,51*
P-M1	0,60*	0,50*	0,71*	0,75*	0,69*	0,85*	0,84*	0,56*	0,76*	0,33
P-M3	0,59*	0,55*	0,74*	0,73*	0,67*	0,83*	0,82*	0,51*	0,70*	0,32
P-Re	0,54*	0,41	0,57*	0,65*	0,61*	0,76*	0,75*	0,61*	0,67*	0,31
Acid.	-0,39	-0,51*	-0,46	-0,25	-0,32	-0,06	-0,24	0,43	-0,28	0,43
Alc.	0,57*	0,40	0,56*	0,60*	0,65*	0,71*	0,63*	0,65*	0,52*	0,37

** e *, significativo ao nível de 1 e 5% , respectivamente, pelo teste de T.

P-Fe - P ligado a ferro; P-Al - P ligado a alumínio; P-Ca - P ligado a cálcio; P-org. - P orgânico;

P-bio - P na biomassa microbiana; P-M1 - P extraído pelo Mehlich 1; P-M3 - P extraído pelo

Mehlich 3; P-Re - P extraído pela resina; Acid. fosfatase ácida e Alc. fosfatase alcalina.

Os valores obtidos para os extratores Mehlich 1 (M1), Mehlich 3 (M3) e resina, semelhantes ao P-Fe e P-Al, correlacionaram-se positiva e significativamente com os parâmetros de planta avaliados, exceto para a atividade da fosfatase ácida foliar na TR, sendo que os maiores coeficientes de correlação para a produção de matéria seca foram observados para o M3 no LR e para a resina na TR. Observa-se também que a resina foi o extrator que melhor se correlacionou com a eficiência de utilização de P na TR, enquanto no LR não houve correlação significativa. Pelos resultados obtidos, os três extratores estudados foram eficientes em prever a disponibilidade

TABELA 2.10. Coeficientes de correlação entre os parâmetros de solo e planta para a Terra Roxa

Estruturada.

	MSA	MSR	MST	CNC	CNT	Pts	Pi	Po	ASE	EFU
P-Fe	0,98**	0,87**	0,98**	0,94**	0,99**	0,99**	0,99**	0,82*	0,12	0,85*
P-Al	0,98**	0,86**	0,98**	0,94**	0,99**	0,99**	0,99**	0,83*	0,15	0,85*
P-Ca	0,78*	0,81*	0,80*	0,80*	0,83*	0,79*	0,80*	0,56*	0,17	0,63*
P-org	-0,25	-0,34	-0,27	-0,42	-0,31	-0,31	-0,33	-0,07	-0,31	-0,17
P-bio	0,24	0,17	0,23	-0,2	0,13	0,16	0,18	-0,01	-0,62	0,33
P-M1	0,95**	0,88**	0,96**	0,96**	0,99**	0,99**	0,99**	0,82*	0,11	0,79*
P-M3	0,95**	0,89**	0,95**	0,91**	0,99**	0,99**	0,99**	0,80**	0,12	0,78*
P-Re	0,99**	0,88**	0,99**	0,87*	0,98*	0,99**	0,99**	0,78*	0,13	0,88**
Acid.	-0,04	-0,09	-0,04	-0,22	-0,13	-0,12	-0,14	0,02	-0,12	0,07
Alc.	0,87*	0,81*	0,88*	0,68*	0,81*	0,81*	0,81*	0,63*	0,24	0,87*

** e *, significativo ao nível de 1 e 5% , respectivamente, pelo teste de T.

P-Fe - P ligado a ferro; P-Al - P ligado a alumínio; P-Ca - P ligado a cálcio; P-org. - P orgânico;

P-bio - P na biomassa microbiana; P-M1 - P extraído pelo Mehlich 1; P-M3 - P extraído pelo

Mehlich 3; P-Re - P extraído pela resina; Acid. fosfatase ácida e Alc. fosfatase alcalina.

de P do solo para as plantas de feijoeiro. Cabe ressaltar que a expressão “disponível” refere-se à concentração de determinado elemento no solo, obtido por soluções extratoras, cujas variações na quantidade extraída correlacionam-se com o conteúdo do elemento na planta e com o crescimento vegetal (Bray, 1947).

A atividade da fosfatase ácida do solo não se correlacionou significativamente com nenhum dos parâmetros vegetais estudados, enquanto a fosfatase alcalina correlacionou-se positiva e significativamente com todos aqueles parâmetros.

2.4 CONCLUSÕES

A classe de solo foi o fator que mais afetou a produção de matéria seca e acúmulo de P das plantas, sendo que as plantas foram mais eficientes em utilizar fósforo quando cultivadas no solo de maior índice tampão deste nutriente.

Os três extratores usados foram eficientes em prever a disponibilidade de P para as plantas de feijoeiro.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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 Nutrition**, 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.
- BRAY, R.H. Correlation of soil tests with crop response to added fertilizers and with fertilizes requirements. In: KITCHEN, H.B. (ed.) **Diagnostic techniques for soils and crops**, Washington, The American Potash Institute. p.53-85, 1947.
- CHANG, S.C.; JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, Baltimore, v.84, n.1, p.133-144. 1957.
- CLARKSON, D.T. Phosphorus supply and growth rate in species of *Agrotis* L. **The Journal of Ecology**, Oxford, v.55, n.1, p.111-118. 1967.
- FABRES, A.S.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; CORDEIRO, A.T. Níveis críticos de diferenres 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.
- FERNANDES, L.A.; FURTINI NETO, A.E.; FAQUIN, V. Níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em plantas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca-MG) cultivadas em latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Roxo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25. Viçosa, **Resumos expandidos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995, n.2, p.945-946.

- 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. 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: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 116p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)
- 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 nutrition of same 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 of 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. American Society 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 bases para a utilização agropecuária, 4, Brasília, 1976. **Anais...** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1977 p.333-347.
- KAMPRATH, E.J.; WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soil. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1980. p.433-470.
- MARTINEZ, H.E.P. Cinética da absorção e das frações fosfatadas em sete variedades de soja (*Glycine max L.(Merril)*). Relatório Final de Pós-Doutoramento. Viçosa:UFV, 1992. n.p.

- 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. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- 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.

3 CONCLUSÕES GERAIS

No Latossolo Roxo predominou o fósforo ligado a ferro, sendo que as condições de uso do solo a curto intervalo de tempo exerceram pouca influência sobre as formas inorgânicas de fósforo.

O fósforo orgânico total, o fósforo orgânico na biomassa microbiana e a atividade das fosfatases foram maiores em solos não perturbados e mais ricos em matéria orgânica.

O fósforo disponível pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3, e resina correlacionou-se com as formas de fósforo do solo, sendo que o Mehlich 1 foi o extrator que melhor correlacionou-se com o fósforo ligado a ferro ao passo que a resina foi o extrator que apresentou melhor correlação com o fósforo ligado a alumínio e a cálcio.

As plantas de feijoeiro foram mais eficientes em utilizar fósforo quando cultivadas no solos de maior índice tampão (Latossolo Roxo) deste nutriente, devido à maior produção de matéria seca e ao menor acúmulo de fósforo inorgânico.

Os extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina foram eficientes em prever a disponibilidade de fósforo para as plantas de feijoeiro.

APÉNDICE

Tabela 1A. Resumo das análises dos parâmetros vegetativos avaliados.

causas de variação	GL	matéria seca total	matéria seca da parte aérea	matéria seca da raiz
Solos	1	82,6255	21,03842	1,8818
Condições de uso	2	86,6303	92,7448	2,1067
Práticas de corretivas	3	537,4128	97,2347	3,4512
Solos x Condições de uso	2	153,2418	85,9664	2,3057
Solos x Práticas corretivas	3	27,7013	10,0024	0,1206
Condições de uso x Práticas corretivas	6	50,3907	2,3918	0,4006
Solos x Condições de uso x Práticas corretivas	6	81,6599	9,1533	0,5712
Resíduo	48	0,4821	0,2465	0,0082
CV (%)		1,69	12,01	6,31