

**FÓSFORO EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES
MINERALOGIAS, CULTIVADOS E NÃO
CULTIVADOS: FRACIONAMENTO, SORÇÃO E
DISPONIBILIDADE PARA SOJA E BRAQUIÁRIA
COM E SEM MICORRIZA**

PAULO EMILIO FERREIRA DA MOTTA

1999

47739

33458MFN

PAULO EMILIO FERREIRA DA MOTTA

**FÓSFORO EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES MINERALOGIAS,
CULTIVADOS E NÃO CULTIVADOS: FRACIONAMENTO, SORÇÃO E
DISPONIBILIDADE PARA SOJA E BRAQUIÁRIA COM E SEM
MICORRIZA**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Curso de
Pós-Graduação em Agronomia, área de
concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para
obtenção do título de "Doutor".

Orientadores
Prof. Nilton Curi
Prof. José Oswaldo Siqueira

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
1999

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Motta, Paulo Emilio Ferreira da.

Fósforo em latossolos com diferentes mineralogias, cultivados e não cultivados : fracionamento, sorção e disponibilidade para soja e braquiária com e sem micorriza / Paulo Emilio Ferreira da Motta. – Lavras : UFLA, 1999.

158p. : il.

Orientadores: Nilton Curi e José Oswaldo Siqueira.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1.Latossolo. 2. Fósforo. 3.Fracionamento. 4. Sorção. 5. Soja. 6. Simbiose.
7. Micorriza. 8. Braquiaria. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.41
-631.46

PAULO EMILIO FERREIRA DA MOTTA

**FÓSFORO EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES
MINERALOGIAS, CULTIVADOS E NÃO CULTIVADOS:
FRACIONAMENTO, SORÇÃO E DISPONIBILIDADE PARA
SOJA E BRAQUIÁRIA COM E SEM MICORRIZA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Doutor".

APROVADA em 28 de julho de 1999

Dr. Bernardo van Raij

Embrapa/CNPMA

Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto

UFLA

Dr. José Maria de Lima

UFLA


Dr. Nilton Curi
UFLA
(Orientador)


Dr. José Oswaldo Siqueira
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

À memória dos meus pais Archimedes e Augusta

DEDICO

**À minha esposa Eliana e às minhas filhas Emiliana,
Patricia e Fernanda.**

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

- À EMBRAPA/CNPS pela oportunidade concedida para realização do curso.
- À UFLA, especialmente ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do curso.
- Ao prof. Nilton Curi, pela orientação constante e segura, além do estímulo e amizade.
- Ao prof. José Oswaldo Siqueira pela valiosa orientação.
- Aos prof. Antônio Eduardo Furtini Neto e José Maria de Lima (Depto. Ciência do Solo - UFLA) e ao pesquisador Bernardo van Raij (EMBRAPA/CNPMA), pelas valiosas sugestões e críticas.
- Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.
- Ao prof. Joel Augusto Muniz, do Depto. de Ciências Exatas - UFLA, pela orientação na análise estatística.
- Aos bolsistas Alexandre Romeiro Araújo, Daniela Costa Santos, Meire Adélia da Silva, Rodrigo de Souza Martins, Débora Cristina Siqueira e Cláudia Milene Nascente Neves, pela boa vontade e dedicação na execução de análises e condução dos experimentos.
- Aos colegas de curso Marx Leandro Naves Silva, Marco Aurélio Carolino de Sá, Luiz Arnaldo Fernandes, João Bosco Vaconcellos Gomes e Mateus Rosa Ribeiro Filho, pelas sugestões, apoio e cooperação.
- Aos técnicos de laboratório Carlinhos, Manuel, Jairinho (in memoriam) e Ana, pela boa vontade e colaboração na execução de análises.
- À minha esposa Eliana e às minhas filhas Emiliana, Patrícia e Fernanda, pelo apoio, carinho e paciência.

BIOGRAFIA

PAULO EMILIO FERREIRA DA MOTTA, filho de Archimedes Motta e Augusta Ferreira da Motta, nasceu em Diamantina, Minas Gerais, em 7 de março de 1953. Na mesma cidade, iniciou seus estudos de primeiro e segundo graus, finalizando-os em 1972 em Belo Horizonte.

No período de 1973-1976, cursou Engenharia Agrônômica na Universidade Federal de Viçosa.

Entre 1977 e 1989, trabalhou como pesquisador na área de Levantamento de Recursos Naturais na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais.

Iniciou o Mestrado em Solos na Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 1986, obtendo o título de Mestre em Solos em 1988.

Em março de 1989, ingressou no Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo, atual Centro Nacional de Pesquisa de Solos, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

Iniciou o Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Lavras em 1995, finalizando-o em 1999.

É casado com Eliana Ferreira da Motta e pai de três filhas: Emiliana, Patrícia e Fernanda Ferreira Motta.

SUMÁRIO

Página

RESUMO GERAL	i
GENERAL ABSTRACT	ii
CAPÍTULO 1	01
1 Introdução geral	01
2 Referencial Teórico	03
2.1 Adsorção de fósforo no solo	03
2.1.1 Adsorção por óxidos	04
2.1.2 Adsorção por argilas silicatadas	06
2.2 Formas de fósforo no solo	07
2.3 Disponibilidade de fósforo no solo	08
2.4 Aproveitamento de fósforo pelas plantas	11
2.5 Micorrizas	14
3 Bibliografia	16
CAPÍTULO 2: Adsorção, formas e disponibilidade de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso ...	26
Resumo	26
Abstract	27
1 Introdução	28
2 Material e Métodos	30
2.1 Solos	30
2.2 Caracterização física	31
2.3 Caracterização química	31
2.4 Caracterização mineralógica	34
2.5 Análise estatística	34
3 Resultados e Discussão	36
3.1 Caracterização química	36
3.1.1 Análise de rotina	36
3.1.2 Teores de ferro	37
3.2 Mineralogia, química e adsorção de P	42
3.3 Formas de P	46
3.4 Fósforo extraído por Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina de troca iônica	51
4 Conclusões	54
5 Bibliografia	55

CAPÍTULO 3: Resposta de soja e braquiária à aplicação de fósforo e inoculação micorrízica em latossolos com diferentes históricos de uso, mineralogia e disponibilidade de fósforo	59
Resumo	59
Abstract	61
1 Introdução	63
2 Material e Métodos	65
2.1 Preparo dos solos e tratamentos	65
2.2 Experimentos	72
2.3 Análises Estatísticas.....	75
3 Resultados e Discussão	75
3.1 Soja	75
3.1.1 Matéria seca	75
3.1.2 Concentração de P na parte aérea	84
3.1.3 Acúmulo de P na parte aérea	89
3.1.4 Relações entre MSPA e absorção de P com os teores de P no solo	96
3.2 Braquiária	97
3.2.1 Matéria seca	97
3.2.2 Concentração de P na parte aérea	106
3.2.3 Acúmulo de P na parte aérea	112
3.2.4 Relações entre MSPA e absorção de P com os teores de P no solo	116
3.3 Dessorção de P	120
3.4 Discussão geral	123
4 Conclusões	126
5 Referências Bibliográficas	127
Anexos.....	130

RESUMO GERAL

MOTTA, Paulo Emilio Ferreira da. **Fósforo em Latossolos com diferentes mineralogias, cultivados e não cultivados: fracionamento, sorção e disponibilidade para soja e braquiária com e sem micorriza.** Lavras, UFLA, 1999. 158 p. (Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)*

Para compensar a imobilização do P em solos, função da interação com seus constituintes químicos e mineralógicos, é comum a aplicação de fosfatos em doses superiores às necessidades das culturas, sendo o excesso recuperado apenas parcialmente nos cultivos posteriores. O uso de plantas mais eficientes no aproveitamento de formas menos lábeis de P, assim como o uso da micorrização, podem constituir alternativas para a maximização da recuperação do P, aumentando a sustentabilidade da produção agrícola.

Estudou-se inicialmente a influência da mineralogia e histórico de uso na adsorção, formas e disponibilidade de P em Latossolos (LA, LV, LE e dois LR, desenvolvidos de gabro, LRg, e de tufito, LRT), coletados em áreas nunca cultivadas e em áreas adjacentes já cultivadas, onde receberam calagens e adubações fosfatadas por longos períodos. Após caracterização analítica, verificaram-se relações entre os atributos físicos, químicos e mineralógicos e a capacidade máxima de adsorção de P (CMAF), calculada a partir de isotermas de adsorção. A mineralogia da argila desferrificada e argila ferro-concentrada foi determinada por difração de raios-x e por análise térmica diferencial. O fracionamento de P foi realizado segundo Chang & Jackson (1975) e Hedley et al. (1982).

Constatou-se que, à medida que os Latossolos tornam-se mais oxidicos, aumenta a adsorção de P, o teor total e as formas ligadas mais fortemente a Al e Fe. O cultivo prévio influenciou de modo diferenciado a adsorção de P e aumentou o P-Ca em todos os solos. Predominam as formas pouco lábeis de P, destacando-se as orgânicas associadas a compostos húmicos nos não cultivados e as inorgânicas, P-Fe e P-Al, nos cultivados. A resina extraiu mais fósforo do que M-1 e M-3 nos solos não cultivados, enquanto, nos cultivados, apresentou comportamento diferenciado entre os solos.

Numa outra etapa, avaliou-se, nestes solos, a resposta de soja (*Glycine max*) e braquiária (*Brachiaria decumbens*) à adição de P e à inoculação com o fungo micorrizico-arbuscular *Glomus etunicatum*, através de experimentos em casa de vegetação, conduzidos por dois períodos de 10 semanas, adotando-se um

* Comitê orientador: Nilton Curi e José Oswaldo Siqueira - UFLA (Orientadores)

DIC em esquema fatorial 2x2x2, com quatro repetições, sendo os tratamentos: (1) histórico (cultivado e não cultivado); (2) aplicação de duas doses de P (P1 e P2), e (3) inoculação (inoculado e não inoculado). Foram avaliados a produção de matéria seca, concentração e acúmulo de P na parte aérea e colonização micorrízica.

O cultivo prévio reduziu as respostas, cuja magnitude variou com o solo. A resposta a P variou com o solo, sendo menor nos solos cultivados e para plantas inoculadas devido ao maior aproveitamento do P do solo por estas. A resposta de ambas espécies à inoculação também foi muito influenciada pelo cultivo prévio, sendo, em geral, maior nos solos não cultivados, ocorrendo variações com a classe de solo. Foi também menor na maior dose de P, independentemente do solo. A presença de micorrizas influenciou a relação entre o P no solo por diferentes extratores e o P absorvido pelas plantas.

Palavras-chave: Latossolos, fósforo, fracionamento de fósforo, sorção de fósforo, micorriza.

GENERAL ABSTRACT

PHOSPHORUS IN LATOSOLS (OXISOLS) WITH DIFFERENT MINERALOGY, CULTIVATED AND NON-CULTIVATED: FRACTIONATION, SORPTION AND AVAILABILITY FOR SOYBEAN AND BRACHIARIA WITH AND WITHOUT MYCORRHIZAE.*

To compensate for P immobilization in soils, as a function of interaction with their chemical and mineralogical constituents, it is common the application of phosphates in doses higher than the crop needs, being the excess recovered only in part in the further cultivations. The use of more efficient plants in utilizing less available P forms, as well as the use of mycorrhizae, can constitute alternatives for maximizing the P recovering, increasing the sustainability of the agricultural production.

First, it was studied the influence of mineralogy and historical of use upon adsorption, forms and availability of P in Latosols (Yellow, Red-Yellow, Dark-Red, and two Dusky-Red, developed from gabbro and tuffite), collected in areas non-cultivated and in adjacent areas, already cultivated where received liming and phosphated fertilization during long periods. After analytical characterization, the relationships among the physical, chemical and mineralogical attributes and the maximum capacity of P adsorption (MCPA), calculated from the adsorption isotherma. The mineralogy of iron-free and iron-concentrated clay fractions was determined through x-rays diffraction and differential thermal analysis. The P fractionation was performed by according to Chang & Jackson (1975) and Hedley et al. (1982).

As the mineralogy of the Latosols become more oxidic, the P adsorption, total P and the forms more strongly linked to Fe and Al increase. The cultivation differentially influenced the P adsorption and increased the forms of P linked to Ca in all the soils. The low available P forms predominate in the studied Latosols, with emphasis to the organic ones associated to humic compounds in the non-cultivated soils and the inorganic ones linked to Fe and Al in the cultivated soils. The Resin extracted more P quantity than Mehlich-1 and Mehlich-3 extractants in the non-cultivated soils, while in the cultivated soils it presented differential behavior among the soils.

In another study, it was evaluated in these soils, the response of soybean (*Glycine max*) and brachiaria (*Brachiaria decumbens*), to addition of P and to inoculation with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus etunicatum*, through

* Guidance Committee: Nilton Curi and José Oswaldo Siqueira – UFLA (Advisers)

experiments in greenhouse conditions, conducted for two periods of 10 weeks, adopting a completely randomized design in a 2x2x2 factorial scheme, with four replications, being the treatments: (1) historical (cultivated and non-cultivated); (2) application of two P doses (P1 and P2); and (3) inoculation (inoculated and non-inoculated). The dry matter production, shoot P concentration and accumulation, and the mycorrhizal colonization were evaluated.

The previous cultivation reduced the responses, whose magnitude varied with the soil. The response to P varied with the soil, being smaller in the cultivated soils and for the inoculated plants, due to higher P uptake by them. The response of both species to inoculation was also much influenced by the previous cultivation, being, in general, higher in the non-cultivated soils, occurring variations with the soil class; it was also smaller in the higher P doses, independently of the soil. The presence of mycorrhizae influenced the relationships between the soil P by different extractants and the P uptake by plants.

Key words: Latosols (Oxisols), phosphorus, phosphorus fractionation, phosphorus sorption, mycorrhiza.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO GERAL

X/A essencialidade do fósforo para o desenvolvimento das plantas decorre de sua participação na constituição das membranas celulares, fosfolípidos, ácidos nucleicos e em compostos que armazenam e fornecem energia metabólica como o ATP. Assim, o P é indispensável em uma série de processos metabólicos dos vegetais, tais como: fotossíntese, síntese de macromoléculas como carboidratos, proteínas, gorduras e absorção ativa de nutrientes.

U Embora, em termos quantitativos, o fósforo seja um dos macronutrientes menos exigidos pelas plantas, é seguramente o elemento que com mais freqüência tem limitado a produção agrícola em solos brasileiros, sendo, por isso, o mais fornecido na forma de adubo. Isto se deve tanto à sua deficiência generalizada em solos tropicais quanto à imobilização de quantidades significativas deste elemento pelo solo em função das fortes interações que apresenta com seus constituintes químicos e mineralógicos. /

A sorção de P, termo que inclui tanto a adsorção (específica e não específica) deste elemento com a superfície de minerais quanto sua precipitação na forma de fosfatos de baixa solubilidade com outros elementos presentes na solução do solo, é constatada mais freqüentemente em solos ácidos, mais ricos em óxidos de ferro e de alumínio, como o caso dos Latossolos, ou em solos ricos em cálcio. O aproveitamento agrícola dos Latossolos, cujas características físicas são normalmente favoráveis a uma exploração intensiva, depende invariavelmente de adubação visando a adequação da fertilidade à necessidade da cultura, o que altera a distribuição do P nas diferentes formas em que ocorre no solo. / A quantidade do nutriente a ser aplicada para o atendimento das

necessidades da cultura deve considerar, portanto, a capacidade de sua imobilização pelo solo. Este fato justificou, no passado, a aplicação pesada de adubos fosfatados tanto nas linhas de plantio como a lanço. Este procedimento, considerado como um investimento de retorno a longo prazo, já que acreditava-se que o excesso aplicado seria integralmente recuperado pelas culturas subseqüentes, foi aplicado em grandes extensões de solos, sobretudo em Latossolos do Planalto Central brasileiro, com o advento da incorporação da região dos cerrados ao processo produtivo.

Diversos estudos, entretanto, têm indicado que, mesmo considerando o efeito residual, a recuperação do P é incompleta, dificilmente ultrapassando a 50% do P aplicado, especialmente nos Latossolos, onde, naqueles com mineralogia mais oxidica, a adsorção é maior e o P tende a ocorrer em formas menos lábeis em comparação àqueles solos com mineralogia mais caulínica.

O uso sustentável da terra, ou seja, a utilização da terra em bases que garantam a produção agrícola continuada em níveis de produtividade constantes ou crescentes, exige o uso eficiente de todos os recursos dos quais depende a produção, dentre estes o solo e os insumos. No caso dos fertilizantes fosfatados, esta necessidade é crucial tendo em vista que as suas fontes são bastante limitadas e se encontram próximas da exaustão. A utilização mais eficiente desse insumo requer um esforço multidisciplinar, cuja estratégia deve incluir, entre outras, alternativas como (a) aspectos do histórico de uso do solo em termos da determinação da melhor dose e do mais adequado modo de aplicação e incorporação; e (b) combinação dos fatores de produção visando obter a máxima produção por unidade de fósforo do solo.

Dentre os fatores considerados nesta última alternativa, tem sido demonstrado, na literatura, que as micorrizas aumentam a eficiência da planta em absorver nutrientes, sobretudo fósforo. Isto resulta em melhor aproveitamento de formas pouco solúveis deste nutriente no solo, como fosfatos

de Al, Fe e Ca, formas estas em que se encontra a maior parte do P não recuperável pelas culturas nos solos ácidos tropicais.

Tendo-se em mente estes aspectos, os objetivos deste trabalho foram: (1) verificar a influência da mineralogia e histórico de uso na adsorção, formas e disponibilidade de P nos principais Latossolos brasileiros; e (2) avaliar, nestes Latossolos, submetidos ou não ao cultivo, calagem e adubação fosfática prolongada, a resposta à adição momentânea de P e inoculação com fungo micorrízico-arbuscular, através do crescimento de duas espécies contrastantes (soja e braquiária) na capacidade de aquisição deste nutriente.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Adsorção de fósforo no solo

Em função da adsorção de P, fenômeno mais importante em solos ácidos, ricos em óxidos (termo inclusivo para óxidos, oxidróxidos e hidróxidos) e em solos calcários (Sanchez & Uehara, 1980), torna-se necessária a aplicação de quantidades de P bem mais elevadas que aquelas normalmente exigidas pelas culturas (Kamprath, 1977; Volkweiss & Raij, 1977; Parfitt, 1979).

Os processos de remoção de P da solução do solo podem ser divididos em abióticos e bióticos. Os processos abióticos incluem reações físico-químicas tais como precipitação-dissolução e adsorção-dessorção, enquanto os bióticos dizem respeito à incorporação do P aos tecidos dos organismos vivos. Alguns fatores afetam o fenômeno de adsorção de P por estes processos, entre estes o pH, que exerce tanto um efeito direto quanto indireto. O efeito direto está relacionado à presença de íons OH^- , que podem tanto deslocar os íons fosfato adsorvidos na superfície dos minerais para a solução quanto prevenir sua adsorção. O efeito indireto do pH ocorre sobre a atividade microbiana

resultando, com o aumento de pH, em uma maior produção de ânions orgânicos, tais como citrato e oxalato (Nagarajah et al., 1970), íons também capazes de competir com os íons fosfato pelos sítios de adsorção da superfície dos óxidos, deslocando-os ou prevenindo sua adsorção (Fontes et al., 1992). Correlações negativas diretas entre conteúdo de matéria orgânica no solo e fixação de P também são reportadas na literatura (Leal & Veloso, 1973; Moshi et al., 1974).

Estes fatores afetam direta ou indiretamente a quantidade de sítios para a adsorção. A magnitude desses efeitos é dependente da mineralogia e do teor de P aplicado aos solos. Por exemplo, entre solos de mineralogia similar a adsorção de P aumenta com o conteúdo de argila (Leal & Veloso, 1973; Sanchez & Uehara, 1980). Os óxidos de ferro e de alumínio são apontados como os componentes do solo mais importantes para o processo, em condições tropicais.

2.1.1. Adsorção por óxidos

Os mecanismos de adsorção de P por óxidos têm sido bastante estudados nas últimas décadas, principalmente com base na adsorção de fosfato por minerais puros, e envolvem, segundo Rajan & Fox (1972) e Barrow (1980), uma fase rápida e uma fase lenta. Na fase rápida, o fósforo solúvel adicionado ao solo reage em questão de minutos com grupamentos ativos da superfície de óxidos de Fe e de Al, via adsorção específica. Trata-se de uma reação exotérmica, em que moléculas de H₂O ou íons OH⁻ são deslocados da superfície do óxido e íons H₂PO₄⁻ ou HPO₄²⁻ formam complexos de superfície com o metal (Frossard et al., 1994). A fase lenta envolve predominantemente reações endotérmicas (Barrow, 1980), sendo sua taxa controlada basicamente pela porosidade dos óxidos de ferro (Madrid & De Arambarri, 1985; Willet et al., 1988; Torrent et al., 1990 e 1992).

No caso dos óxidos de ferro, Frossard et al. (1994) consideram que o tipo de óxido, bem como suas características intrínsecas, são tão importantes na adsorção de P quanto a sua quantidade, enquanto Jones (1981) verificou que além da abundância do mineral, é importante o tamanho do cristal.

A adsorção de P por óxidos é parcialmente reversível, ocorrendo histerese, ou seja, a quantidade de P dessorvível é inferior à quantidade adsorvida. No entanto, Madrid & Posner (1979) consideram que a reversibilidade completa possa ocorrer a longo prazo, desde que a planta atue removendo P da solução, o que implica em dessorção para que novo equilíbrio seja atingido.

A goethita tem sido considerada como o principal componente da fração argila responsável pela adsorção de fósforo em solos do Brasil Central (Bahia Filho et al., 1983). A influência da substituição isomórfica em Al e da superfície específica da goethita sobre o fenômeno de adsorção de P também tem sido citada na literatura (Resende, 1976; Ainsworth & Sumner, 1985; Anand & Gilkes, 1987; Torrent et al., 1990; Ker, 1995; Ruan & Gilkes, 1996), bem como o efeito da morfologia dos cristais (Torrent et al., 1990; Torrent et al., 1992; Schwertmann & Herbillon, 1992; Ruan & Gilkes, 1996).

A maior capacidade de adsorção de P de solos goethíticos em relação aos hematíticos foi constatada anteriormente por Bigham et al. (1978), Curi & Franzmeier (1984) e Peña & Torrent (1984), e pode ser creditada, segundo Frossard et al. (1994), às diferenças quanto à facilidade de acesso dos íons fosfato a grupos OH⁻ de superfície. Bigham et al. (1978) constataram um aumento na quantidade de P adsorvido com o aumento da proporção goethita/hematita, o que pode, segundo Schwertmann & Herbillon (1992), ser devido à maior área superficial específica da goethita em relação à hematita.

Investigando o efeito da morfologia dos cristais de hematitas sintéticas sobre sua capacidade de adsorção de P, Barrón et al. (1988) constataram

capacidade inferior à de goethitas naturais e sintéticas, não podendo, porém, concluir se este fenômeno ocorreu devido à menor área superficial específica da hematita (partículas maiores) ou à sua mais baixa capacidade de adsorção por unidade de área superficial. Schwertmann & Herbillon (1992) consideram que diferentes faces dos cristais de goethita e hematita adsorvem diferentes quantidades de fosfatos porque as densidades de grupos funcionais Fe-OH variam marcadamente nas diferentes faces dos cristais.

A gibbsita tem participação importante na adsorção de fósforo, embora de forma menos efetiva que a goethita (McLaughlin et al., 1981). Em razão da sua ocorrência em grandes quantidades em alguns Latossolos argilosos muito velhos, sua contribuição, em termos de adsorção total, pode, porém, ultrapassar aquela dos óxidos de ferro (Curi et al., 1988; Mesquita Filho & Torrent, 1993). Utilizando extrações seqüenciais com resina de troca aniônica, Rojas (1994) constatou, em Latossolos brasileiros, que os mais gibbsíticos dessorvem menos P que os mais goethíticos.

2.1.2. Adsorção por argilas silicatadas

As argilas silicatadas possuem uma menor habilidade em adsorver P em relação aos óxidos e apresentam dois tipos de sítios de adsorção: (1) as faces quebradas dos cristais; e (2) as superfícies carregadas positivamente (Frossard et al., 1994). Nas faces quebradas, com carga dependente do pH, a adsorção não específica é semelhante ao que acontece nos óxidos de Al (Parfitt, 1979).

Estudando a adsorção de fósforo em diversos Latossolos do Brasil, Ker (1995) observou que o aumento do caráter caulínico dos solos implica em redução na capacidade de adsorção de P. O papel da caulinita na adsorção de P parece secundário em comparação com os componentes oxidícos. No entanto, a ampla variação de área superficial específica e conseqüente adsorção de fosfato

em solos brasileiros (Resende et al., 1988) merecem consideração e medição adicionais.

2.2. Formas de fósforo no solo

O fósforo ocorre no solo sob diferentes formas, caracterizadas por distintas capacidades de adsorção. Vários métodos químicos, baseados em extrações seqüenciais, foram propostos visando fracionar o P de acordo com sua disponibilidade. Entre estes, estão o de Chang & Jackson (1957), que distingue principalmente as formas P-Al, P-Fe e P-Ca, e o de Hedley et al. (1982), que baseia-se na extração seqüencial de formas lábeis, pouco lábeis e não lábeis.

No fracionamento de Hedley et al. (1982), as formas lábeis referem-se ao P disponível (P-resina) e ao P inorgânico (Pi) e orgânico (Po) adsorvidos na superfície dos colóides (P-NaHCO₃). O P microbiano (P-NaHCO₃/CH₃Cl) constitui uma subfração do P-NaHCO₃ obtida pela diferença entre o P determinado antes e após a lise das células microbianas por clorofórmio (CH₃Cl). As formas pouco lábeis referem-se às formas inorgânicas ligadas a Fe e Al e orgânicas associadas a compostos húmicos (P - NaOH), além de formas orgânicas e inorgânicas localizadas no interior de agregados, obtidas por ultrasonificação no extrato residual de NaOH. As formas consideradas não lábeis correspondem ao P ligado a Ca (P - HCl) e ao P residual, referente às formas mais estáveis de Po e formas insolúveis de Pi, cuja extração é obtida através de digestão com H₂SO₄ e H₂O₂.

O uso do solo, com as conseqüentes remoções pelas colheitas e adições pelas adubações fosfatadas ou orgânicas, acaba por alterar estas formas. Tiessen et al. (1983), ao estudar as formas de P em solos cultivados por 60-90 anos, constataram uma redução expressiva do P-Resina e do P-NaHCO₃, enquanto o P-HCl (ligado a cálcio) aumentou em todos os solos. Estes autores consideram

que, com a depleção do P lábil, o Pi-NaOH foi sendo mobilizado lentamente para a reposição do P naquela forma. Mattingly (1965) considera que grandes quantidades de P-NaOH geralmente mantêm altos níveis de P lábil sob condições naturais.

2.3. Disponibilidade de fósforo no solo

A quantidade de P dessorvível, definida como a quantidade de P que pode ser extraída do solo pelo abaixamento da concentração do P em solução, é estimada geralmente através de quatro métodos: (1) extrações químicas; (2) experimentos de adsorção-dessorção, onde são investigadas relações entre o P adicionado e o P recuperado para um dado tempo de contato, proporção solo:solução e temperatura; (3) experimentos de dessorção, utilizando resina de troca de ânions ou papel trocador de íons; e (4) método isotópico.

Os métodos químicos foram, em sua maior parte, desenvolvidos empiricamente e baseiam-se na idéia de extrair do solo uma quantidade de P que seja proporcional à quantidade que as plantas podem absorver. Dos extratores utilizados, a maioria se baseia no princípio da dissolução de minerais contendo P e/ou no deslocamento do P retido nas superfícies sólidas do solo para a solução por ânions capazes de competir com o P pelos sítios de adsorção. Como exemplos de métodos que utilizam este tipo de extratores, têm-se o de Bray (NH_4F 0,03 mol L⁻¹ + HCl 0,025 mol L⁻¹), Olsen (NaHCO_3 0,5 mol L⁻¹ a pH 8,0), Mehlich-1 (H_2SO_4 0,025 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹) e Mehlich-3 (CH_3COOH + NH_4NO_3 + NH_4F + HNO_3 e EDTA).

Apesar do seu grande uso atualmente no Brasil, o método Mehlich-1 tem apresentado limitações para alguns solos, notadamente para aqueles derivados de rochas máficas, solos previamente fertilizados com fosfatos naturais e solos de baixadas. O extrator Mehlich-3 (Mehlich, 1984), que

combina pH ácido com complexação extrai, em geral, mais P que o Mehlich-1 (Lopes et al., 1987) e Bray-1 (Lucero et al., 1998). Proposto para extrair adicionalmente Cu, reduzir o efeito corrosivo do fluoreto sobre o equipamento do laboratório e manter ou ampliar o poder extrator do método Mehlich-2 (Mehlich, 1984), o método Mehlich-3 utiliza: ácido acético (CH_3COOH), com a função de tamponar a solução extratora a pH 2,5 e prevenir a precipitação do cálcio como fluoreto de Ca; nitrato de amônio (NH_4NO_3), para facilitar a extração de cátions básicos como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ ; ácido nítrico (HNO_3), para extração de parte dos fosfatos de cálcio e, através do componente ácido (H^+), aumentar a extração de micronutrientes e cátions básicos; fluoreto de amônio (NH_4F), cujo íon F^- extrai fosfatos de ferro e de alumínio enquanto o íon NH_4^+ complementa o nitrato de amônio na extração de cátions básicos; e o EDTA, que quelata micronutrientes, especialmente Cu, e previne a precipitação de fluoreto de cálcio, por complexar o Ca.

Amer et al. (1955) sugeriram o uso da resina de troca aniônica e apresentaram dados que evidenciaram uma estreita correlação entre o valor A (produção relativa do tratamento sem fósforo em relação ao com fósforo) e o fósforo extraído pela resina. Desde então esse método tem sido intensamente investigado. De um modo geral, o fósforo extraído pela resina tem apresentado boas correlações com a resposta das plantas (Cook & Hislop, 1963; Gunary & Sulton, 1967; Grande et al., 1986; Motta et al., 1994), sendo por isso considerado como representando a fração disponível. Raij (1978 e 1981) constatou a superioridade do método da resina em relação a diferentes soluções extratoras.

De maneira geral, os fatores que aumentam a adsorção de fósforo contribuem para reduzir a dessorção. Assim, segundo Colombo et al. (1994), grandes quantidades de óxidos de ferro, entre outros fatores, decrescem a dessorção de P.

Um dos problemas na interpretação dos resultados das análises químicas na avaliação da fertilidade do solo é o fato de que muitas vezes a quantidade do nutriente extraído não está correlacionada com aquela que o solo poderia fornecer às plantas (Delazari et al., 1983). No caso do fósforo, uma simples medição em laboratório através de extratores químicos não prediz com segurança a quantidade que o solo pode suprir (Mattingly, 1965).

Trabalhos em que são verificadas correlações entre o P recuperado por extratores químicos e as quantidades de P aplicadas em solos são comuns na literatura. Delazari et al. (1983) estudaram as relações entre as declividades das retas que expressam as relações entre o P recuperado pelos extratores Mehlich-1, Bray-1, Bray-2 e H_2SO_4 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e o P aplicado ao solo, considerando aquele parâmetro como função do fator capacidade. Através da elaboração de uma matriz de correlação simples entre as declividades obtidas para os quatro extratores e diferentes atributos químicos e físicos do solo (teor de argila, equivalente de umidade, capacidade de campo, concentração da solução de equilíbrio etc.), foram encontrados coeficientes de correlação significativos, o que indica, segundo os autores, ser justificável a inclusão de informações relativas ao fator capacidade de P no solo como critério de recomendação de adubação fosfatada.

Em experimentos de adsorção-dessorção, é estudada a remoção de P de solos ou constituintes dos solos, com o uso de soluções diluídas, a qual é descrita por diferentes equações de adsorção ou isotermas, sendo atribuída à equação de Langmuir a vantagem de permitir o cálculo da capacidade máxima de adsorção de P (Olsen & Watanabe, 1957). A declividade (coeficiente angular) da isoterma na forma linear fornece uma estimativa da capacidade de adsorção de P do solo (Sanchez & Uehara, 1980).

2.4. Aproveitamento de fósforo pelas plantas

Os fatores que mais influem na capacidade das plantas de utilizarem os nutrientes dos solos, entre eles o P, e responderem à adubação são, segundo Volkweiss (1986) (1) as necessidades totais de nutrientes; (2) a velocidade de crescimento; (3) a eficiência de utilização dos nutrientes nos processos metabólicos; e (4) a capacidade de absorção dos nutrientes dos solos.

As diferenças com relação às necessidades totais de nutrientes devem-se às diferenças de produção de material vegetal. Quanto à velocidade de crescimento, Raij (1991) considera que plantas de crescimento muito rápido e sistema radicular pouco desenvolvido aproveitam mal o P do solo e necessitam de teores disponíveis elevados para o seu bom desenvolvimento, ao passo que plantas de ciclo longo e sistemas radiculares muito desenvolvidos aproveitam bem teores relativamente baixos de P disponível. Barrow (1980) considera que a existência de zonas de absorção nas raízes que permanecem ativas por longos períodos facilita o acesso da planta a P liberado muito lentamente. A eficiência de utilização, característica tida como a principal responsável pelas diferenças entre variedades, diz respeito à produtividade da planta associada à determinada concentração do nutriente em seus tecidos (Volkweiss, 1986).

A capacidade de absorção de nutrientes dos solos pelas plantas depende principalmente da morfologia das raízes e da cinética de absorção. Plantas com sistema radicular amplo, constituído de raízes finas e, portanto, com alta superfície de absorção de nutrientes por unidade de peso da planta, têm alta capacidade de absorver os nutrientes em baixa concentração na solução do solo (Goedert & Souza, 1986; Volkweiss, 1986). Pela mesma razão, a presença de pêlos radiculares longos e abundantes é uma característica desejável para facilitar a absorção de P em solos com baixo coeficiente de difusão do mesmo e com baixos teores na solução.

A capacidade de absorção de nutrientes por determinada espécie vegetal está também intimamente relacionada à sua capacidade de alteração do pH da rizosfera, o que se dá através da absorção diferenciada de cátions e ânions (Barrow, 1980; Volkweiss, 1986; Raji, 1991), e que pode determinar uma maior ou menor disponibilidade dos nutrientes nesta zona. Os exsudatos radiculares também podem influenciar a disponibilidade de nutrientes na rizosfera, através de mecanismos como a solubilização de fosfatos (Siqueira & Franco, 1988). A deficiência de P em muitas espécies de plantas leva a um aumento da atividade celular da fosfatase, que pode ser liberada para o apoplasto e para o meio circundante, podendo promover a liberação de Pi de ésteres fosfatados por hidrólise nas zonas circunvizinhas (Clarkson, 1985). Uma elevada absorção de cálcio tem sido considerada também importante para a obtenção de P a partir de fosfatos de cálcio (Barrow, 1980). Em experimento com soja, trigo e cevada em solução nutritiva, Johnston & Olsen (1972) constataram que 75% ou mais do P liberado para a solução foi dissolvido pela remoção de cálcio pelas plantas.

Rao et al. (1997) verificaram diferenças entre gramíneas e leguminosas forrageiras quanto à eficiência de aquisição e utilização de P quando cultivadas em solos ácidos. Segundo esses autores, essas diferenças podem ser explicadas pela morfologia do sistema radicular, eficiência de aquisição de P por unidade de raiz, atividade de fosfatase ácida e concentração de fósforo nas raízes e parte aérea das espécies estudadas. As estratégias adotadas pelas plantas para aumentar a eficiência de aquisição de P diferem entre gramíneas e leguminosas, sendo que as gramíneas possuem um maior sistema radicular, enquanto as leguminosas têm maior eficiência de aquisição de P por unidade de raiz. A combinação dessas estratégias aumenta a eficiência em P, ou seja, o requerimento externo de P pode ser reduzido (Föhse et al., 1988).

A princípio, a baixa mobilidade do P inorgânico no solo pode ser compensada pelo maior sistema radicular das gramíneas em relação às

leguminosas (Rao et al., 1993). No entanto, vários trabalhos evidenciam que, apesar das leguminosas apresentarem um menor sistema radicular, elas possuem uma maior eficiência de aquisição de P do que as gramíneas (Evans, 1977; Caradus, 1980; Rao et al., 1997). Quando em cultivo consorciado gramíneas - leguminosas, as gramíneas são mais competitivas por água, luz e nutrientes. Porém, na ausência de competição, as leguminosas e as gramíneas possuem concentrações semelhantes de P nos tecidos vegetais (Caradus, 1980). Segundo Rao et al. (1997), na ausência de competição, a maior eficiência das leguminosas em absorver P por unidade de raiz compensa o maior volume de solo explorado pelas gramíneas. Desse modo, quando as leguminosas de crescimento radicular lento e maior eficiência de aquisição de P por unidade de raiz são cultivadas em consórcio, elas são menos competitivas pelo fato de que as gramíneas absorvem primeiro o P disponível, mesmo tendo uma menor eficiência de aquisição de P (Caradus, 1980; Baligar & Duncan, 1990).

Rao et al. (1997) verificaram que a produção de matéria seca da parte aérea das gramíneas correlacionou-se positiva e significativamente com o P acumulado na parte aérea e produção de matéria seca de raiz, porém, não se correlacionou com a eficiência de utilização de P, o que sugere que a produção de forragem pelas gramíneas é preferencialmente controlada pelo P acumulado na parte aérea em comparação à eficiência de utilização do nutriente. Para as leguminosas, a eficiência de utilização correlacionou-se negativa e significativamente com os parâmetros de crescimento vegetal (área foliar, produção de matéria seca de raiz e parte aérea) e com o P acumulado.

✓ A maior eficiência de aquisição de P pelas leguminosas está relacionada à sua maior capacidade em alterar a região da rizosfera pela liberação de ácidos orgânicos, substâncias que formam complexos com Fe e Al, e enzimas como as fosfatases (Caradus, 1980; Ae et al., 1990; Marshner, 1991). Segundo Marshner (1995), a maior atividade de fosfatase nas raízes das leguminosas confere às

mesmas um maior potencial de utilização do fósforo orgânico do solo em relação às gramíneas. Além desses fatores, plantas como as leguminosas que têm, preferencialmente, seu suprimento de nitrogênio via fixação biológica do N_2 (FBN), absorvem mais cátions do que ânions, em relação àquelas em que o nitrogênio é absorvido na forma de nitrato ($N-NO_3^-$). A relação de absorção cátions/ânions nas leguminosas que se utilizam da FBN é semelhante àquela observada em plantas que absorvem preferencialmente nitrogênio na forma de amônio ($N-NH_4^+$). Como consequência da maior absorção de cátions em relação a ânions, há uma maior acidificação da rizosfera e um maior aproveitamento de P ligado a cálcio por essas plantas (Marschner, 1991).

Outra característica das plantas que as diferenciam quanto à capacidade de absorção de P é a formação de micorrizas (Barrow, 1980; Volkweiss, 1986; Siqueira & Franco, 1988; Raij, 1991).

2.5. Micorrizas

Micorrizas são associações simbióticas mutualistas, formadas entre certos fungos do solo e a maioria das espécies vegetais, que aumentam a performance da planta em solo de baixo status de nutrientes, já que o fungo aumenta a capacidade absorptiva das raízes vegetais, permitindo que elas absorvam nutrientes presente em baixas concentrações na solução do solo, ao passo que a planta fornece fotossintatos para o fungo, incapaz de realizar fotossíntese. Os nutrientes cuja absorção é mais favorecida são aqueles menos móveis, como o P (Thingstrup et al., 1998).

Cress et al. (1979) mostraram que raízes colonizadas com fungos micorrizicos possuem um sistema de absorção de P altamente eficiente, caracterizado por alto valor $V_{m\acute{a}x}$ e baixo valor K_m para plantas crescendo em solos com baixo nível de P disponível. As hifas externas do fungo, segundo

Sanders & Tinker (1973), funcionam como uma extensão do sistema radicular, podendo absorver nutrientes além da zona de atuação dos pêlos radiculares e fora da zona de depleção que se desenvolve em torno das raízes.

As micorrizas são importantes para o suprimento de P para as gramíneas e leguminosas em solos tropicais (Arias et al., 1991). No entanto, as plantas diferem bastante quanto ao benefício alcançado com esta associação. A braquiária apresenta uma dependência micorrizica, ou seja, o quociente da produção da planta micorrizada em relação à planta não micorrizada multiplicado por 100, em torno de 120 %, enquanto a soja atinge valores de até 360 % (Siqueira & Franco, 1988). Rao et al. (1997), estudando espécies de gramíneas e leguminosas em solos ácidos quanto à eficiência de aquisição e utilização de fósforo, verificaram que a maior eficiência de aquisição de P pelas leguminosas estava associada à maior eficiência micorrizica e/ou maior atividade de fosfatase ácida nas raízes, em adição a outros fatores, embora a taxa de infecção das raízes das gramíneas tenha sido maior do que aquela das leguminosas.

Em geral, a incidência das micorrizas é maior quando as condições de crescimento estão abaixo do ótimo para a espécie hospedeira. Os níveis de P no solo interferem na colonização e na esporulação dos fungos micorrizicos arbusculares, sendo os efeitos deste nutriente na colonização diferentes entre espécies, pois atuam via nutrição da planta e, por isto, a quantidade de nutrientes requerida para inibir a colonização depende da capacidade de absorção e translocação da espécie vegetal (Siqueira, 1994)

A resposta à micorrização, segundo Fitter (1991), é determinada por dois processos opostos: um efeito estimulante, devido ao aumento da absorção de P, e um efeito detrimental, causado pelo dreno de fotossintatos do hospedeiro, estimado em 10 a 20% da fotossíntese total. Sob condições de suprimento adequado de P, o desenvolvimento da micorriza é reduzido e a planta hospedeira

mostra pequeno efeito da inoculação (Ozanne, 1980; Tinker, 1980; Siqueira & Franco, 1988), embora plantas bem nutridas não se tornem imunes à infecção podendo o fungo, mesmo em baixa colonização, ainda drenar fotossintatos e causar redução no desenvolvimento do hospedeiro (Peng et al., 1993). Segundo Thomson et al. (1991), apenas em concentração de P no solo acima daquela requerida para o máximo desenvolvimento da planta, o P pode ter efeito adverso diretamente sobre o fungo. Fernandes et al. (1987) constataram que o benefício máximo da micorrização para soja, em Latossolo deficiente em P, foi obtido com um teor de P no solo de 40 ppm (Mehlich-1). Os benefícios da simbiose para a planta dependem, portanto, do balanço entre o dreno de fotossintatos, causado pelo fungo e sua capacidade em promover modificações que favoreçam o crescimento da planta (Siqueira & Franco, 1988).

Até há pouco tempo acreditava-se que as plantas micorrizadas tinham acesso às mesmas formas de P que as plantas não micorrizadas (Bolan, 1991), contudo aquelas apresentavam maior eficiência no seu aproveitamento. Sabe-se hoje, entretanto, que as micorrizas são capazes de mobilizar P do solo através de modificações químicas na rizosfera, incluindo a mineralização do P orgânico (Jayachandran et al., 1992). Alves (1988) constatou que a braquiária e o estilósantes são capazes de absorver P fixado ou retido no solo quando inoculados com fungos micorrízicos arbusculares.

3. BIBLIOGRAFIA

- AE, N.; OKADA, K.; YOSHIHARA, T.; JOHANSEN, C. Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the indian subcontinent. *Science*, n.248, p.477-480, 1990.
- AINSWORTH, C.C.; SUMNER, M.E. Effect of aluminum substitution in goethite on phosphorus adsorption: II. Rate of adsorption. *Soil Science Society of America. Journal*, Madison, v.49, p.1149-1153, 1985.

- ALVES, G.L.N. Micorrizas vesicular-arbusculares no crescimento e utilização do fósforo do solo pela brachiaria e estilosantes. Lavras, ESAL, 1988. 42p. (Dissertação de Mestrado)
- AMER, F.; BOULDIN, D.R.; BLACK, C.A.; DUKE, F.R. Characterization of soil phosphate by anion exchange resin adsorption and ^{32}P equilibration. *Plant and Soil*, The Hague, v.6, p.391-408, 1955.
- ANAND, R.R.; GILKES, R.J. Iron oxides in lateritic soils from West Australia. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.38, p.607-622, 1987.
- ARIAS, I.; KOOMEN, I.; DODD, J.C.; WHITE, R.P.; HAYMAN, D.S. Growth responses of mycorrhizal and non-mycorrhizal tropical forage species to different levels of soil phosphate. *Plant and Soil*, The Hague, v.132, p.253-260, 1991.
- BAHIA, FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A.C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de latossolos do Planalto Central. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.7, n.3, p.221-226, 1983
- BALIGAR, C.C.; DUNCAN, R.R. Crop as enhancers of nutrient use. San Diego: Academic Press, 1990.
- BARRÓN, V.; HERRUZO, M.; TORRENT, J. Phosphate adsorption by aluminous hematites of different shapes. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.52, p.647-651, 1988.
- BARROW, N. J. Evaluation and Utilization of Residual Phosphorus in Soils. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E. J. (Eds.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*. Madison. American Society of Agronomy. p.333-359. 1980.
- BIGHAM, J.M.; GOLDEN, D.C.; BUOL, S.W.; WEED, S.B.; BOWEN, L.H. Iron oxide mineralogy of well-drained Ultisols and Oxisols: II. Influence on color, surface area, and phosphate retention. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.42, p.825-830, 1978.

• CARADUS, J.R. Distinguishing between grass and legume species for efficiency of phosphorus use. *New Zeland J. Agric. Res.*, v.23, p.75-81, 1980.

CHANG, S.C.; JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorous. *Soil Science*, Baltimore, v.84, n.1, p.133-144, 1957.

• CLARKSON, D.T. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: SIMPÓSIO SOBRE RECICLAGEM DE NUTRIENTES E AGRICULTURA DE BAIXOS INSUMOS NOS TRÓPICOS, Ilhéus, 1984. *Anais...*, Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1985. p.45-65.

* COLOMBO, C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Phosphate adsorption and desorption in relation to morphology and cristal properties of synthetic hematites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.58, n.4, p.1261-1269, 1994.

COOK, I.J.; HISLOP, J. Use of an anion-exchange resin for the assessment of available soil phosphate. *Soil Science*, Baltimore, v.96, p.308-312, 1963.

CRESS, W.A.; THRONEBERRY, G.O.; LINDSAY, D.L. Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal tomato roots. *Plant Physiology*, v.64, p.484-487, 1979.

CURI, N.; CAMARGO, O.A.; GUEDES, A.; SILVEIRA, J.V. Sorção de fósforo em materiais de latossolos do Brasil sudeste. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA, 3, Rio de Janeiro, 1988. *Anais...* Rio de Janeiro, EMBRAPA - SNLCS, SBCS, 1988. p.267-282.

CURI, N.; FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.48, p.341-346, 1984.

CURI, N.; FRANZMEIER, D.P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisols in Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.51, p.153-158, 1987.

* DELAZARI, P.C.; BRAGA, J.M.; NOVAIS, R.F. Parâmetros de fósforo em função de características químicas e físicas de solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.7, p.55-60, 1983.

- EVANS, P.S. Comparative root morphology of some pature grasses and clovers. ●
New Zeland J. Agric. Res., v.220, p.331-335, 1977.
- FERNANDES, A.B.; SIQUEIRA, J.O.; MENEZES, M.A.L.; GUEDES, G.A.A.
Efeito diferenciado do fósforo sobre o estabelecimento e efetividade da
simbiose endomicorrizica em milho e soja. *Revista Brasileira de Ciência
do Solo*, Campinas, v.11, p.101-108, 1987
- FITTER, A.H. Costs and benefits of mycorrhizas: Implications for functioning
under natural conditions. *Experientia*, v.47, p.350-355, 1991.
- FÖHSE, D.; CLASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. I.
external and internal P requeriments and P uptake efficiency of different
plant species. *Plant and Soil*, The Hague, v.110, p.101-109, 1988.
- FONTES, M.R.; WEED, S.B.; BOWEN, L.H. Association of microcrystalline *
goethite and humic acid in some oxisols from Brazil. *Soil Science Society
of America. Journal*, Madison, v.56, p.982-990, 1992.
- FROSSARD, E.; BROSSARD, M.; HEDLEY, M.J.; METHERELL, A.
Reactions controlling the cycling of P in soils. In: TIESSEN, H.(ed) P
cicling in terrestrial and aquatic ecosystem; a global perspective. New
York, John Wiley & Son, p.1-65, 1994.
- GOEDERT, W.J.; SOUZA, D.M.G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In:
SEMINÁRIO FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E
MICRONUTRIENTES - SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS NA
AGRICULTURA, São Paulo, 1984. *Anais...*, São Paulo: MANAH S/A,
1986. p.21-53
- GRANDE, M.A.; CURI, N.; QUAGGIO, J.A. Disponibilidade de fósforo pelos
extratores de Mehlich e resina, em solos cultivados com arroz irrigado.
Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.10, p.45-50, 1986.
- GUNARY, D.; SUTTON, C.D. Soil factors affecting plant uptake of phosphate.
Journal of Soil Science, Oxford, v.18, p.167-173, 1967.

- HEDLEY, M.J.; STEWARD, W.B.; CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fraction induced by cultivation practices and laboratory incubation. *Soil Science Society of America. Journal*, Madison, v.46, p.970-976, 1982.
- JAYACHANDRAN, K.; SCHWAB, A.P.; HETRICK, B.A.D. Mineralization of organic phosphorus by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biological Biochemistry*, v.9, n.24, p.897-903, 1992.
- JOHNSTON, W.B.; OLSEN, R.A. Dissolution of fluorapatite by plant roots. *Soil Science*, Baltimore, v.114, n.1, p.29-36, 1972.
- JONES, R.C. X-ray diffraction line profile analysis vs. phosphorus sorption by 11 Puerto Rican soils. *Soil Science Society of America. Journal*, Madison, v.45, p.818-825, 1981.
- * KAMPRATH, E.J. Phosphorous fixation and availability in highly weathered soil. In: FERRI, M.G., coord. *SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO; bases para utilização agropecuária*, 4, Belo Horizonte, 1977. *Anais...* São Paulo, USP, 1977. p.333-347.
- KER, J.C. *Mineralogia, sorção e desorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil*. Viçosa, UFV, 1995. 181p. (Tese de Doutorado).
- LEAL, J.R.; VELOSO, A.C.S. Adsorção de fosfato em latossolo sob vegetação de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.8, p.81-88, 1973.
- * LOPES, A.S; SMYTH, T.J.; CURI, N. The need for a soil fertility reference base and nutrient dynamics studies. In: SANCHEZ, P.A.; STONER, E.R.; PUSHPARAJAH, E. (eds) *Management of Acid Tropical Soils for Sustainable Agriculture*. Bangkok, IBSRAM. 1987. p.147-166.
- * LUCERO, D.W.; MARTENS, D.C.; McKENNA, J.R.; STARNER, D.E. Comparison of Mehlich-3 – and Bray-1 – Extractable Phosphorus Levels in a Starr Clay Loam Amended with Poultry Litter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.29, n.9/10, p.1133-1142, 1998.
- MADRID, L.; De ARAMBARRI, P. Adsorption of phosphate by two iron oxides in relation to their porosity. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.36, p.523-530, 1985.

- MADRID, L; POSNER, A.M. Desorption of phosphate from goethite. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.30, p.697-707, 1979.
- MARSCHNER, H. Mechanisms adaptation of plants to acid soils. *Plant and Soil*, The Hague, v.134, p.1-20, 1991.
- MATTINGLY, G.E.G. The influence of intensity and capacity factors of the availability of soil phosphorus. Great Britain Min. Agric. Fish. Food. Tech. Bull., v.13, p.1-9, 1965.
- McLAUGHLIN, R.R.; RYDEN, J.C.; SYERS, J.R. Sorption of inorganic phosphate by iron and aluminum containing components. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.32, p.365-377, 1981.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science Plant Analysis*, New York, v.15, n.12, p.1409-1416, 1984.
- MESQUITA FILHO, M. V.; TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of a hydrosequence of soils from the Cerrado region (Brazil). *Geoderma*, Amsterdam, v.58, p.107-123, 1992.
- MOSHI, A.O.; WILD, A.; GREENLAND, D.J. Effect of organic matter on the charge and phosphate adsorption characteristics of Kikuyu Red Clay from Kenya. *Geoderma*, Amsterdam, v.11, p.275-285, 1974.
- MOTTA, A.C.V.; CARVALHO, J.G. de; GUEDES, G.A. de A.; CURI, N. Comparação entre métodos para avaliação da disponibilidade de fósforo em solos de várzea no Estado de Minas Gerais. *Ciência e Prática*, Lavras, v.18, n.4, p.349-356, 1994.
- NAGARAJAH, S.; POSNER, A.M.; QUIRK, J.P. Competitive adsorption of phosphate with polygalactourate and other organic anions on kaolinite and oxide surfaces. *Nature*, v.228, p.83-84, 1970.
- OLSEN, S.R.; WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorous adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.21, p.144-149, 1957.

OZANNE, P.G. Phosphate nutrition of plants - a general treatise. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E. J. (eds) *The Role of Phosphorous in Agriculture*. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.559-589.

* PARFITT, R.L. The availability of P from phosphate-goethite binding complexes, desorption and uptake by ryegrass. *Plant and Soil*, The Hague, v.53, p.55-65, 1979.

PEÑA, F.; TORRENT, J. Relationships between phosphate sorption and iron oxides in Alfisols from a river terrace sequence of Mediterranean Spain. *Geoderma*, Amsterdam, v.33, p.283-296, 1984.

RAIJ, B. van. *Avaliação da fertilidade do solo*. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1981.142p.

RAIJ, B. van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.2, p.1-9, 1978.

RAIJ, B. van. *Fertilidade do Solo e Adubação*. Piracicaba, Ceres, 1991. 343p.

RAJAN, S.S.S.; FOX, R.L. Phosphate adsorption by soils. I. Influence of time and ionic environment on phosphate adsorption. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.3, p.493-504, 1972.

RAO, L.M.; ZEIGLER, R.S.; VERA, R.; SARKARUNG, S. Selection and breeding for acid soil tolerance in crops: upland rice and tropical forages as case studies. *BioScience*, v.43, p.454-465, 1993.

RAO, L.M.; BORRETO, V.; RICAURTE, J.; GARCIA, R.; AYARZA, M.A. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils. III. differences in phosphorus acquisition and utilization as influenced by varying phosphorus supply and soil type. *Journal of Plant Nutrition*, v.20, n.1, p.155-180, 1997.

RAO, L.M.; BORRETO, V.; RICAURTE, J.; GARCIA, R.; AYARZA, M.A. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils. III. differences in shoot and root growth responses to varying phosphorus supply and soil type. *Journal of Plant Nutrition*, v.19, p.323-352, 1996.

- RESENDE, M. Mineralogy, chemistry morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil. West Lafayette, Purdue University, 237p., 1976 (Tese de Ph.D.).
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. Pedologia: base para distinção de ambientes. Viçosa, NEPUT, 1997, 367p. 2ª ed. Rev. e ampl.
- RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D.P. Pedologia e Fertilidade do Solo: Interações e Aplicações. Brasília, MEC/ESAL/POTAFOS, 1988. 84p.
- ROJAS, I.E.J.F. Reversibilidade de fósforo não lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos à redução microbiológica e química. Viçosa, UFV, 93p., 1994. (Tese de Doutorado).
- RUAN, H.D.; GILKES, R.J. Kinetics of phosphate sorption and desorption by synthetic aluminous goethite before and after thermal transformation to hematite. Clay Minerals, v.31, p.63-74, 1996.
- SANCHEZ, P.A.; UEHARA, G. Management Considerations for Acid Soils with High P Fixation Capacity. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E. J. (eds) The Role of Phosphorous in Agriculture, Madison, American Society of Agronomy, p.471-514, 1980.
- SANDERS, F.E.T.; TINKER, P.B. Phosphate flow into mycorrhizal roots. Pesticides Science., v.4, p.385-395, 1973
- SCHWERTMANN, U.; HERBILLON, A.J. Some aspects of fertility associated with the mineralogy of highly weathered tropical soils. In: Myths and science of soils of the tropics. SSSA Special publication no 29, Madison, p.47-59, 1992.
- SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. Biotecnologia do solo. Fundamentos e perspectivas. Brasília: MEC; Lavras: ESAL, FAEPE, 1988. 266p.
- SIQUEIRA, J.O.; SAGGIN-JÚNIOR, O.J. The importance of mycorrhizae association in natural low-fertility soils. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM PERSPECTIVA. Belo Horizonte, 1992. Anais... Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1995. p.240-280.

- THINGSTRUP, I; RUBAEK, G.; SIBBESEN, E.; JAKOBSEN, I. Flax (*Linum usitatissimum* L.) depends on arbuscular mycorrhizal fungi for growth and P uptake at intermediate but not high soil levels in the field. *Plant and Soil*, The Hague, v.203, p.37-46, 1998.
- THOMSON, B.D.; ROBSON, A.D. & ABBOT, L.K. Soil mediated effects of phosphorus supply on the formation of mycorrhizas by *Scutellispora calospora* (Nicol. & Gerd.) Walker & Sanders on subterranean clover. *New Phytologist*, v.118, p.463-469, 1991.
- TINKER, P.B. Economy and chemistry of phosphorus. *Nature*, v.270, p.103-104, 1977.
- TINKER, P.B. Role of rhizosphere microorganisms in phosphorus uptake by plants. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E. J. (eds) *The Role of Phosphorous in Agriculture*. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.617-654.
- TIESSEN, 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 60-90 years of cultivation. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.34, p.815-823, 1983.
- TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; BARRÓN, V. Fast and slow phosphate sorption by goethite-rich natural materials. *Clay and Clays Minerals*, Ottawa, v.40, p.14-21, 1992.
- TORRENT, J; BARRON, V.; SCHWERTMANN, U. Phosphate adsorption and desorption by goethites differing in crystal morphology. *Soil Science Society of America. Journal*, Madison, v.54, p.1007-1012, 1990.
- VOLKWEISS, S.; RAIJ, B. van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: FERRI, M.G., coord. *SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO; bases para utilização agropecuária*, 4, Belo Horizonte, 1977. *Anais...* São Paulo, USP, 1977. p.317-332.
- VOLKWEISS, S.J. Otimização das características da planta para maximizar a eficiência do adubo. In: *SEMINÁRIO FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES - SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS NA AGRICULTURA*, São Paulo, 1984. *Anais...*, São Paulo: MANAH S/A, 1986. p.8-15.

WILLETT, I.R.; CHARTRES, C.J.; NGUYEN, T.T. Migration of phosphate into aggregated particles of ferrihydrite. *Journal of Soil Science, Oxford*, v.89, p.275-282, 1988.

CAPÍTULO 2

ADSORÇÃO, FORMAS E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM LATOSSOLOS: INFLUÊNCIA DA MINERALOGIA E HISTÓRICO DE USO

MOTTA, Paulo Emilio Ferreira da. Adsorção, formas e disponibilidade de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. Lavras, UFLA, 1999. Cap.2. 33 p. (Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)*

RESUMO

Este trabalho objetivou verificar a influência da mineralogia e histórico de uso na adsorção, formas e disponibilidade de P em Latossolos. De modo a abranger uma ampla faixa de proporções de hematita, goethita, caulinita (Ct) e gibbsita (Gb), empregaram-se cinco Latossolos (LA, LV, LE e dois LR, desenvolvidos de gabro, LRg, e de tufito, LRt), nunca cultivados e já cultivados, em áreas adjacentes, por longos períodos, recebendo calagens e adubações fosfatadas periódicas. Procedeu-se a caracterização física, química e mineralógica, envolvendo: granulometria, Fe em formas pouco cristalinas (Fe_o), óxidos livres (Fe_d) e "totais" (Fe_s), além de fósforo disponível, por Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e Resina. A adsorção de P foi estudada empregando-se 24 h de agitação e concentrações de 0; 5; 10; 15; 25; 50; 75; 100 e 200 mg. kg⁻¹, para obtenção da isoterma de adsorção de onde obteve-se a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAF). Através de difração de raios-x, obteve-se a composição mineralógica das frações argila desferrificada e argila ferro-concentrada e, por análise térmica diferencial, a razão Ct/(Ct+Gb), na fração argila desferrificada. O fracionamento de P foi realizado de acordo com Chang & Jackson (1975) e Hedley et al. (1982).

À medida que a mineralogia dos Latossolos se torna mais oxidica, aumenta a adsorção de P, o teor total e as formas ligadas mais fortemente a Al e Fe. O cultivo influenciou de modo diferenciado a adsorção de P e aumentou as formas de P ligado a Ca em todos os solos. As formas pouco lábeis de P predominam nos Latossolos estudados, destacando-se as orgânicas associadas a compostos húmicos nos não cultivados e as inorgânicas ligadas a Fe e Al nos cultivados. A resina extraiu maior quantidade de P do que os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 nos Latossolos não cultivados, enquanto, nos cultivados, esta apresentou comportamento diferenciado entre os solos.

* Comitê de orientação: Nilton Curi e José Oswaldo Siqueira – UFLA (Orientadores)

ABSTRACT

ADSORPTION, FORMS AND AVAILABILITY OF PHOSPHORUS IN LATOSOLS (OXISOLS): INFLUENCE OF MINERALOGY AND HISTORICAL OF USE*

This work has as objective to verify the influence of mineralogy and historical of use upon adsorption, forms and availability of P in Latosols (Oxisols). In order to include an ample range of proportions of hematite, goethite, kaolinite (Ka) and gibbsite (Gi), we used five Latosols (Yellow, Red-Yellow, Dark-Red, and two Dusky-Red, developed from gabbro and from tuffite), never cultivated and already cultivated, in adjacent areas, during long periods, receiving liming and phosphated fertilization periodically. We performed physical, chemical and mineralogical characterization, involving: particle-size-distribution, Fe in less crystalline (Fe_o), free oxides (Fe_d) and "total" (Fe_t) forms, beyond available P through Mehlich-1, Mehlich-3 and Resin extractants. The P adsorption was studied using 24h of shaking and concentrations of 0; 5; 10; 25; 50; 75; 100 and 200 $mg.kg^{-1}$, for obtaining the adsorption isotherm from which it was obtained the maximum capacity of P adsorption. Through x-ray diffraction it was obtained the mineralogical composition of the iron-free and iron-concentrated clay fractions and, through differential thermal analysis, the $Ka/(Ka + Gi)$ ratio in the free-iron clay fraction. The P fractionation was performed by according to Chang & Jackson (1975) and Hedley et al. (1982).

As the mineralogy of the Latosols become more oxidic, the P adsorption, total P and the forms more strongly linked to Fe and Al increase. The cultivation differentially influenced the P adsorption and increased the forms of P linked to Ca in all the soils. The low available P forms predominate in the studied Latosols, with emphasis to the organic ones associated to humic compounds in the non-cultivated soils and the inorganic ones linked to Fe and Al in the cultivated soils. The Resin extracted more P quantity than Mehlich-1 and Mehlich-3 extractants in the non-cultivated soils, while in the cultivated soils it presented differential behavior among the soils.

* Guidance Committee: Nilton Curi and José Oswaldo Siqueira – UFLA (Advisers).

1. INTRODUÇÃO

Embora, em termos quantitativos, o fósforo seja um dos macronutrientes menos exigidos pelas plantas, é seguramente o elemento que com mais frequência tem limitado a produção agrícola em condições brasileiras (Malavolta, 1976; Rajj, 1991). Isto se deve tanto à sua deficiência generalizada em solos tropicais quanto à imobilização de quantidades significativas do mesmo pelo solo em função das fortes interações que apresenta com seus constituintes químicos e mineralógicos.

A sorção de P, termo que inclui tanto o fenômeno de adsorção deste elemento com a superfície de minerais quanto sua precipitação com outros elementos presentes na solução do solo na forma de fosfatos de baixa solubilidade, é constatada mais freqüentemente em solos ácidos, mais ricos em óxidos de ferro e de alumínio, como é o caso geral dos Latossolos, ou em solos ricos em cálcio.

A magnitude da adsorção de P depende da natureza e da quantidade de sítios disponíveis na superfície dos minerais, sendo, por isso, dentro de uma mesma mineralogia, afetada positivamente pelo maior conteúdo de argila, o que foi constatado por Leal & Veloso (1973), Bahia Filho & Braga (1975) e Sanchez & Uehara (1980). Assim, em solos deficientes em P e com grande quantidade de argila e óxidos, a fixação de P é maior. Portanto, para atendimento da exigência das culturas, são exigidos níveis de adubação fosfatada mais elevados do que para solos arenosos. Numerosos trabalhos têm mostrado, entretanto, que além da quantidade de argila, sua constituição mineralógica é de suma importância na determinação da adsorção de P pelos solos, o que se justifica pela peculiaridade da energia de ligação entre o P e cada fração adsorvente. Nesse aspecto, os

óxidos de ferro e de alumínio são tidos como os constituintes da fração argila mais efetivos na adsorção de P (Parfitt, 1978).

Com relação aos óxidos de ferro, Frossard et al. (1993) consideram que, por eles afetarem a extensão da superfície reativa do mineral e, portanto, a magnitude do fenômeno de adsorção de P, o tipo de óxido, bem como suas características intrínsecas, são tão importantes na adsorção de P quanto a sua quantidade. No tocante aos óxidos de alumínio, sua participação neste fenômeno tem sido menos destacada de modo geral.

O fósforo ocorre no solo sob diferentes formas, caracterizadas por distintas capacidades de adsorção, tendo sido propostos vários métodos químicos, baseados em extrações seqüenciais, que visam fracionar o P de acordo com sua disponibilidade. Entre estes, estão o de Chang & Jackson (1957), que distingue principalmente as frações P-Al, P-Fe e P-Ca, e o de Hedley et al. (1982), que se baseia na extração seqüencial de formas lábeis, pouco lábeis e não lábeis. A maioria dos trabalhos nesta linha tem se concentrado na caracterização das formas de P sem associá-las à mineralogia e capacidade de adsorção do solo. Desta forma, mais atenção deveria ser dada nestas associações em adição às extrações seqüenciais mormente feitas.

Com o uso do solo, as remoções de P pelas plantas e as alterações na sua disponibilidade pelas calagens e adubações fosfatadas ou orgânicas acaba por alterar estas formas. Trabalhos a esse respeito, envolvendo pares de solos não cultivados e cultivados por longos períodos, nos quais o P já se encontra em formas mais estabilizadas e sua relação com mineralogia e adsorção de P são escassos e deveriam ser estimulados. Por outro lado, a elevada potencialidade agrícola e a vasta extensão de ocorrência dos Latossolos no Brasil justificam estudos básicos para o seu uso e manejo mais sustentável visando a obtenção de dados que auxiliarão no fornecimento de soluções mais adequadas aos casos específicos.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi verificar a influência da mineralogia e histórico de uso na adsorção, formas e disponibilidade de P nos principais Latossolos brasileiros.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Solos

Para o estudo, foram utilizados cinco Latossolos brasileiros, argilosos e muito argilosos, abrangendo ampla faixa de variação nas proporções de hematita, goethita, caulinita e gibbsita. De cada solo, coletaram-se amostras compostas sob vegetação natural e em área cultivada por longo período de tempo sob sistema de produção que envolveu calagens e adubações fosfatadas periódicas, sendo mantida uma distância máxima de 200 metros entre os pontos de coleta dentro de cada classe de solo. Com este procedimento, procurou-se dispor de pares de solos com atributos físicos e mineralógicos semelhantes, porém com diferentes disponibilidades de P em função do conteúdo e das formas nas quais este elemento se encontra no solo como resultado do uso agrícola prolongado, o qual tende a estabilizar as formas de P.

Os solos estudados e as principais informações sobre os mesmos encontram-se na Tabela 1.

As amostras compostas (cerca de 150 kg de solo) foram coletadas na profundidade de 0-20 cm, em setembro/97. Destas, subamostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2mm, sendo em seguida submetidas a análises físicas, químicas e mineralógicas.

2.2. Caracterização física

Correspondeu à determinação da composição granulométrica da TFSA pelo método da pipeta (Day, 1965), utilizando-se NaOH 0,1N como dispersante químico e agitação lenta (4 horas) para a máxima preservação dos cristais dos minerais presentes, com vistas ao aproveitamento posterior da fração argila para as análises mineralógicas. Foram utilizadas cinco repetições (Tabela 1A).

2.3. Caracterização química

As análises de rotina foram realizadas de acordo com EMBRAPA (1997) e englobaram pH, complexo sortivo, P disponível, micronutrientes e C orgânico, com 3 repetições por determinação (Tabela 2A).

Na fração argila, foram determinados os teores de ferro utilizando-se os extratores oxalato de amônio (uma extração), conforme Schwertmann (1964), e ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (quatro extrações sucessivas), conforme Mehra & Jackson (1960), os quais extraem, respectivamente, o ferro presente na forma de óxidos de baixa cristalinidade e aquele presente na forma de óxidos livres totais, independente do grau de cristalinidade. Os óxidos provenientes do ataque sulfúrico foram determinados conforme Vettori (1969), com modificações (EMBRAPA, 1997). A adsorção de P foi estudada conforme Olsen & Watanabe (1957), empregando-se 24 horas de agitação, durante as quais 2g de TFSA, corrigida posteriormente para TFSE, foram agitadas horizontalmente com 40 ml de solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$ contendo diferentes concentrações de fósforo. O P não detectado após centrifugação foi considerado como adsorvido. Os dados obtidos foram ajustados à equação linear da isoterma de Langmuir, $C/x/m = 1/ab + C/b$, onde C é a concentração de P em $\mu\text{g L}^{-1}$ na solução de equilíbrio, x/m é μg de P adsorvido/g de solo, a é uma constante

TABELA 1. Informações básicas sobre os solos estudados.

Solo e Simbologia dos perfis ¹	Textura	Material de Origem	Vegetação Nativa	Localização	Uso	Manejo
Latossolo Amarelo (LA-NC e LA-C)	Argilosa	Sedimentos da Formação Barreiras	Floresta tropical subperenifólia	Aracruz (ES)	Culturas anuais (feijão e milho) por 11 anos. Nos 3 anos precedentes à amostragem, o solo permaneceu coberto com capim colônia (<i>Panicum maximum</i>)	Adução fosfatada anualmente e calagem ocasionalmente
Latossolo Vermelho-Amarelo (LV-NC e LV-C)	Argilosa	Produto de alteração do Gnaisse granítico	Floresta tropical subcaducifólia	Lavras (MG)	Culturas anuais por mais de 10 anos	Adução fosfatada anualmente e calagem ocasionalmente
Latossolo Vermelho-Escuro (LE-NC e LE-C)	Muito argilosa	Sedimentos do Terciário	Cerrado tropical subcaducifólio	Uberlândia (MG)	Culturas anuais por mais de 10 anos	Adução fosfatada pesada e calagem anualmente
Latossolo Roxo (LRg-NC e LRg-C)	Muito argilosa	Produto da alteração do Gabro	Floresta tropical subperenifólia	Lavras (MG)	Culturas anuais por mais de 10 anos. Nos 5 anos precedentes à amostragem, o solo permaneceu coberto com capim braquiária (<i>Brachiaria decumbens</i>)	Adução fosfatada anualmente e calagem ocasionalmente
Latossolo Roxo (LRt-NC e LRt-C)	Argilosa	Produto de alteração do Tufito	Floresta tropical subcaducifólia	Patos de Minas (MG)	Culturas anuais por mais de 15 anos. Nos 5 anos precedentes à amostragem, o solo permaneceu coberto com capim braquiária (<i>Brachiaria decumbens</i>)	Adução fosfatada anualmente e calagem ocasionalmente

¹ NC - Não cultivado; C - Cultivado.



relacionada à energia de retenção dos íons e b é a adsorção máxima de P. Em todas essas análises foram utilizadas três repetições.

As diferentes formas de fósforo no solo foram determinadas conforme Chang & Jackson (1975) e Hedley et al. (1982). Na metodologia de Chang & Jackson (1975), foram determinados P ligado a alumínio (P-Al), a ferro (P-Fe) e a cálcio (P-Ca). Na metodologia proposta por Hedley et al. (1982), efetuou-se a separação de: (1) formas lábeis de P, ou seja, o P disponível (P-resina), o P adsorvido à superfície dos colóides [(Pi + Po)-NaHCO₃] e o P microbiano [(Pi + Po) - NaHCO₃/ CH₃Cl]; (2) formas pouco lábeis, compreendendo o P inorgânico ligado a Fe e Al e o P orgânico ligado a compostos húmicos [(Pi + Po) - NaOH]; e (3) formas não lábeis, que incluem o P ligado ao Ca (P-HCl), considerado relativamente insolúvel, e as formas mais estáveis de Po e Pi (P-residual), determinadas após digestão com H₂SO₄ e H₂O₂. Nos extratos do bicarbonato, bicarbonato após tratamento com clorofórmio, extrato acidificado do bicarbonato, hidróxido de sódio e hidróxido de sódio com sonificação, procedeu-se a determinação do P com e sem autoclavagem (ou digestão), para a separação do Pi e do Po (Figura 1). Para a extração com resina foram confeccionados saquinhos de polietileno de 400µm de malha, nos quais foram colocados 0,6g de resina de troca aniônica DOWAX2-X18 na forma de bicarbonato. Em todos os extratos, o P foi determinado por colorimetria segundo Murphy & Riley (1962). Foram performadas três repetições.

A disponibilidade de P foi avaliada pelos extratores Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997), Mehlich-3 (Mehlich, 1984) e resina de troca iônica (Raij, 1976).

2.4. Caracterização mineralógica

A composição mineralógica da fração argila foi determinada por difração de raios-X (DRX) utilizando-se lâminas de sedimentação. A argila foi também submetida ao tratamento com NaOH 5 mol.L⁻¹ fervente (Kämpf & Schwertmann, 1982), para concentração dos óxidos de ferro, sendo o material resultante montado em suportes de alumínio e submetido também à DRX para identificação e caracterização dos óxidos de ferro. Com base nos difratogramas, foram determinadas a proporção de hematita e goethita, através da razão entre as intensidades dos reflexos (012) da hematita e (110) da goethita (Kämpf & Schwertmann, 1982), a dimensão média dos cristais dos óxidos de ferro, usando a equação de Scherrer (Klug & Alexander, 1974), e a substituição em Al na estrutura da goethita, segundo Schulze (1984).

A quantificação de caulinita e gibbsita foi realizada, por análise térmica diferencial (ATD), no resíduo do tratamento com ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (Mehra & Jackson, 1960), após secagem em estufa e destorroamento suave em gral de ágata.

2.5. Análises estatísticas

Foram realizados testes de média (Tukey) e correlações lineares (Pearson) empregando-se o Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG-UFV).

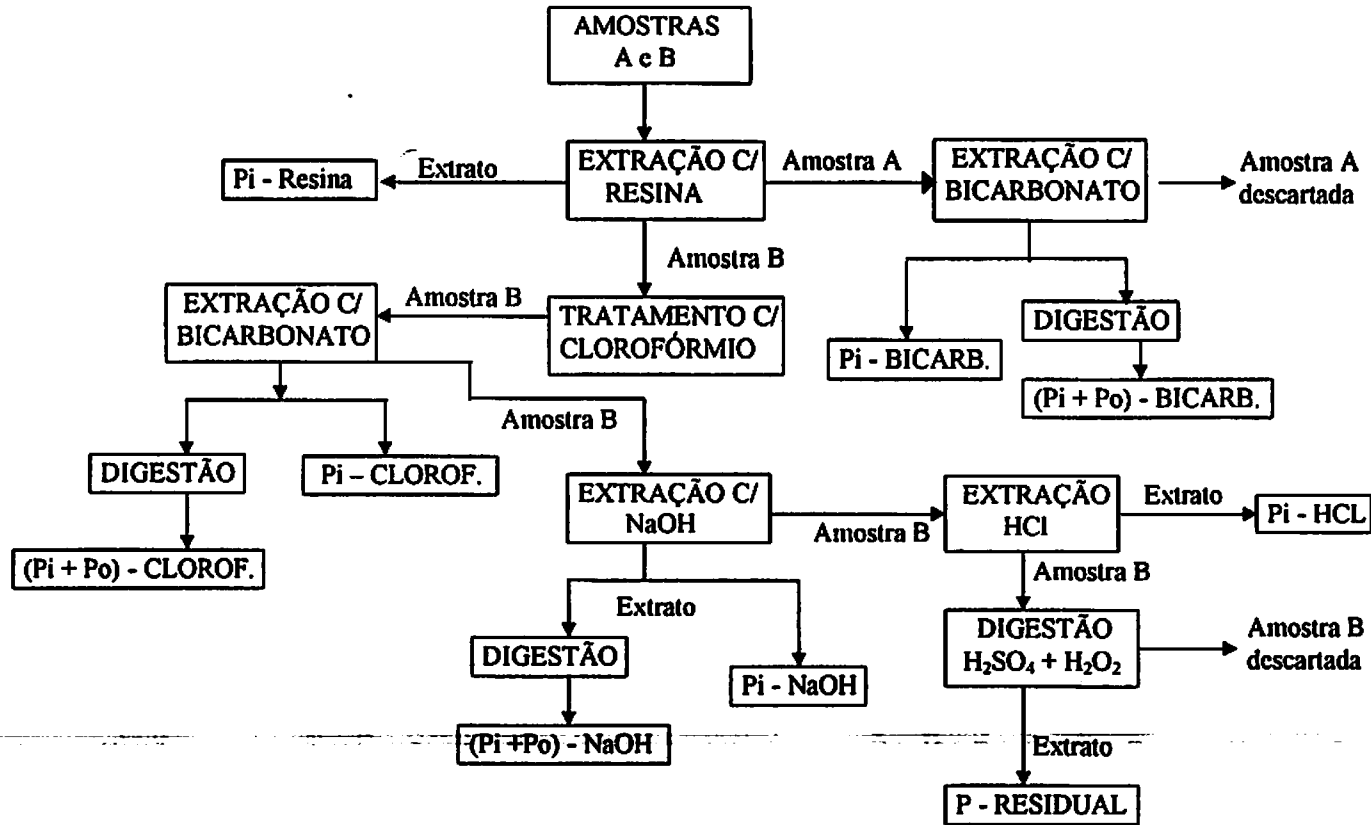


FIGURA 1. Fluxograma operacional do fracionamento de fósforo segundo Hedley et al. (1982), adaptado de Pavan & Chaves (1996).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização química

3.1.1. Análises de rotina

Pela Tabela 2A, observa-se que todos os solos não cultivados apresentaram valores de pH dentro da faixa 5,4 – 6,1, à exceção do LE e LRt, com valores ligeiramente mais baixos. Os solos cultivados (C) apresentaram valores nulos ou quase nulos de Al trocável, enquanto, entre os não cultivados (NC), o LE e LRt apresentaram valores mais elevados, em torno de $0,8 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$. Em termos de macronutrientes, todos os solos, exceto o LE e LRg, apresentaram teores médios de Ca e Mg e médios e altos de K. Os valores de P extraído por Mehlich-1 foram altamente discrepantes entre solos não cultivados (2 a 70 mg dm^{-3}) e cultivados (6 a 50 mg dm^{-3}). No caso do LRt, os valores foram bem mais elevados até mesmo no solo não cultivado, indicando herança do seu material de origem, em consonância com os dados do ataque sulfúrico (Tabela 4), pois o P_2O_5 extraído por este método é aceito como um índice confiável do P total (Lemos et al., 1997).

Os resultados de P-Resina mostraram valores mais elevados que o P-Mehlich-1 em todos os casos, à exceção do LRt-NC.

Dentro de cada classe de solo, o carbono orgânico mostrou valores sempre inferiores nos solos cultivados em relação aos não cultivados, o que se deve provavelmente à maior mineralização da matéria orgânica provocada pelo cultivo.

Em termos de micronutrientes nos solos não cultivados, à exceção do B, os maiores valores foram registrados nos LR, em consonância com a maior

riqueza das rochas máficas geradoras dos mesmos (Curi & Franzmeier, 1987; Resende et al., 1997).

3.1.2. Teores de ferro

Em todos os extratos, o conteúdo de ferro decresceu na ordem LRt>LRg>LE>LV>LA. Na extração por DCB, observou-se uma relação inversa entre o conteúdo total de Fe_d e a eficiência das extrações, ou seja, quanto menor a quantidade de Fe_d total, maior a quantidade obtida nas primeiras extrações (Tabela 2).

TABELA 2. Percentual acumulado de Fe_d¹ obtido em cada extração.

Solo	Extrações			
	I	II	III	IV
	----- % -----			
LA-NC	75,0	91,7	91,7	100,0
LA-C	81,1	90,6	97,2	100,0
LV-NC	67,7	84,9	97,3	100,0
LV-C	71,2	77,8	95,9	100,0
LE-NC	49,8	71,6	89,3	100,0
LE-C	61,8	80,5	96,2	100,0
LRg-NC	56,8	79,8	95,0	100,0
LRg-C	60,0	79,0	93,2	100,0
LRt-NC	52,6	80,7	94,1	100,0
LRt-C	47,6	79,6	93,9	100,0

¹ Extraído com ditionito-citrato-bicarbonato

A relação Fe_o/Fe_d (Tabela 3) é utilizada como um índice de cristalinidade dos óxidos de ferro no solo. Valores mais elevados desta relação estão relacionados à presença de inibidores de cristalização, como a matéria

TABELA 3. Cor e alguns atributos químicos e mineralógicos dos Latossolos estudados sob diferentes condições de cultivo.

Solo	Cor (úmida)	Fe _o ¹	Fe _d ²	Ct ³	Gb ⁴	Fe _o /Fe _d	Gt/ (Gt+Hm)	Ct/ (Ct+Gb)	CMAF ⁵
		----- g.kg ⁻¹ -----							µg.g ⁻¹
LA - NC	10YR 4/2	0,3	1,2	260	10	0,02	1,00	0,96	476
LA - C	10YR 4/1	0,7	10,6	230	10	0,07	1,00	0,96	324
LV - NC	7,5YR 3/4	1,9	33,7	110	60	0,06	1,00	0,65	621
LV - C	7,5YR 3/3	1,8	46,0	100	90	0,04	1,00	0,53	676
LE - NC	2,5YR 3/4	2,4	55,2	230	270	0,04	0,17	0,46	1.233
LE - C	2,5YR 3/4	2,1	61,0	190	110	0,03	0,14	0,63	1.052
LRg - NC	2,5YR 2,5/4	2,9	87,2	240	200	0,03	0,34	0,55	1.393
LRg - C	2,5YR 3/4	2,8	84,7	230	220	0,03	0,45	0,51	1.393
LRt - NC	5YR 3/3	5,3	121,1	0	260	0,04	0,09	0,00	3.000
LRt - C	5YR 3/3	5,1	117,4	0	300	0,04	0,12	0,00	2.092

1: Ferro extraído com oxalato de amônio;

2: ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato;

3: caulinita;

4: gibbsita;

5: capacidade máxima de adsorção de fósforo.

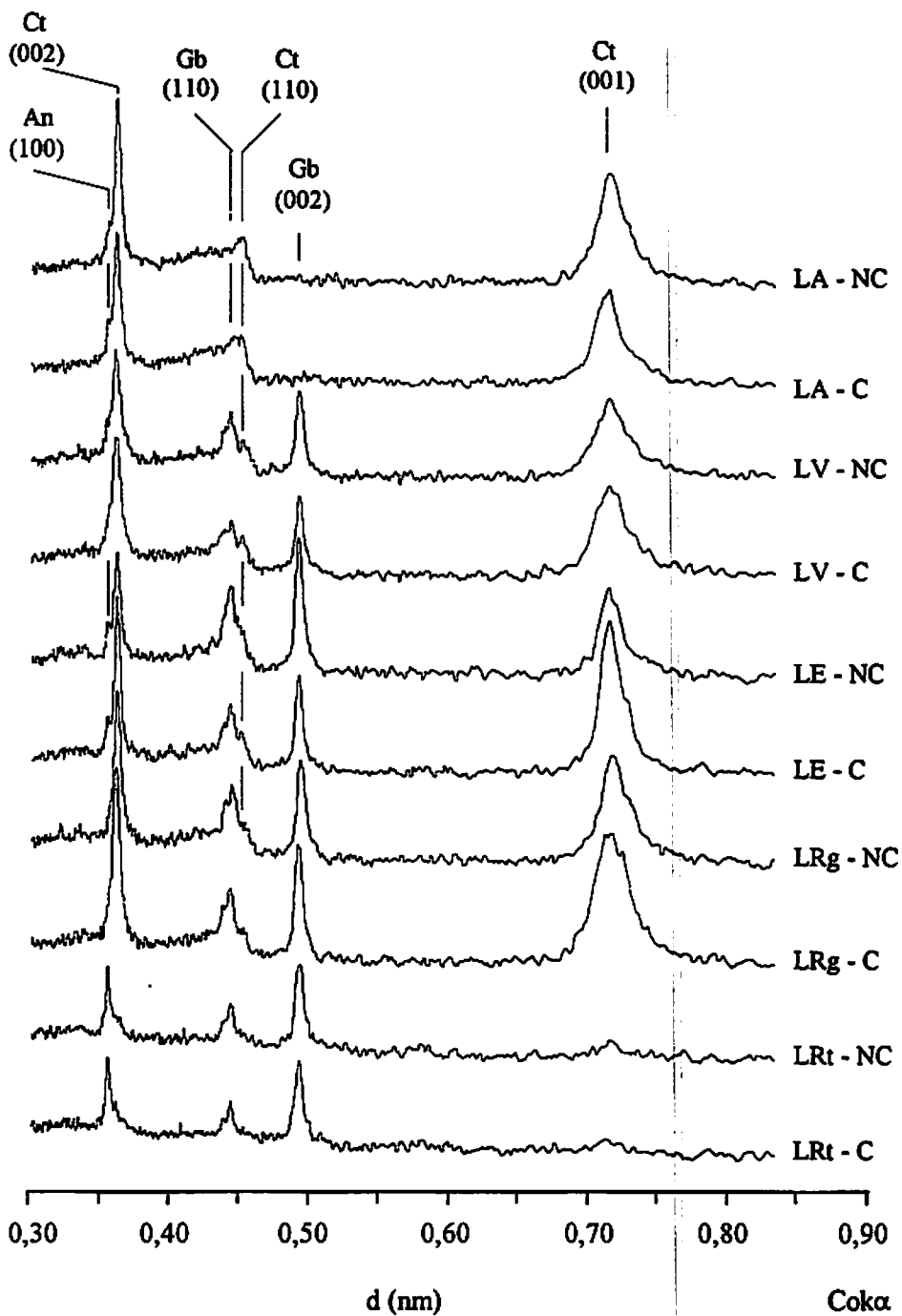


FIGURA 2. Difratogramas de raios-x da fração argila desferificada.
 An: Anatásio; Ct: Caulinita; Gb: Gibbsita.

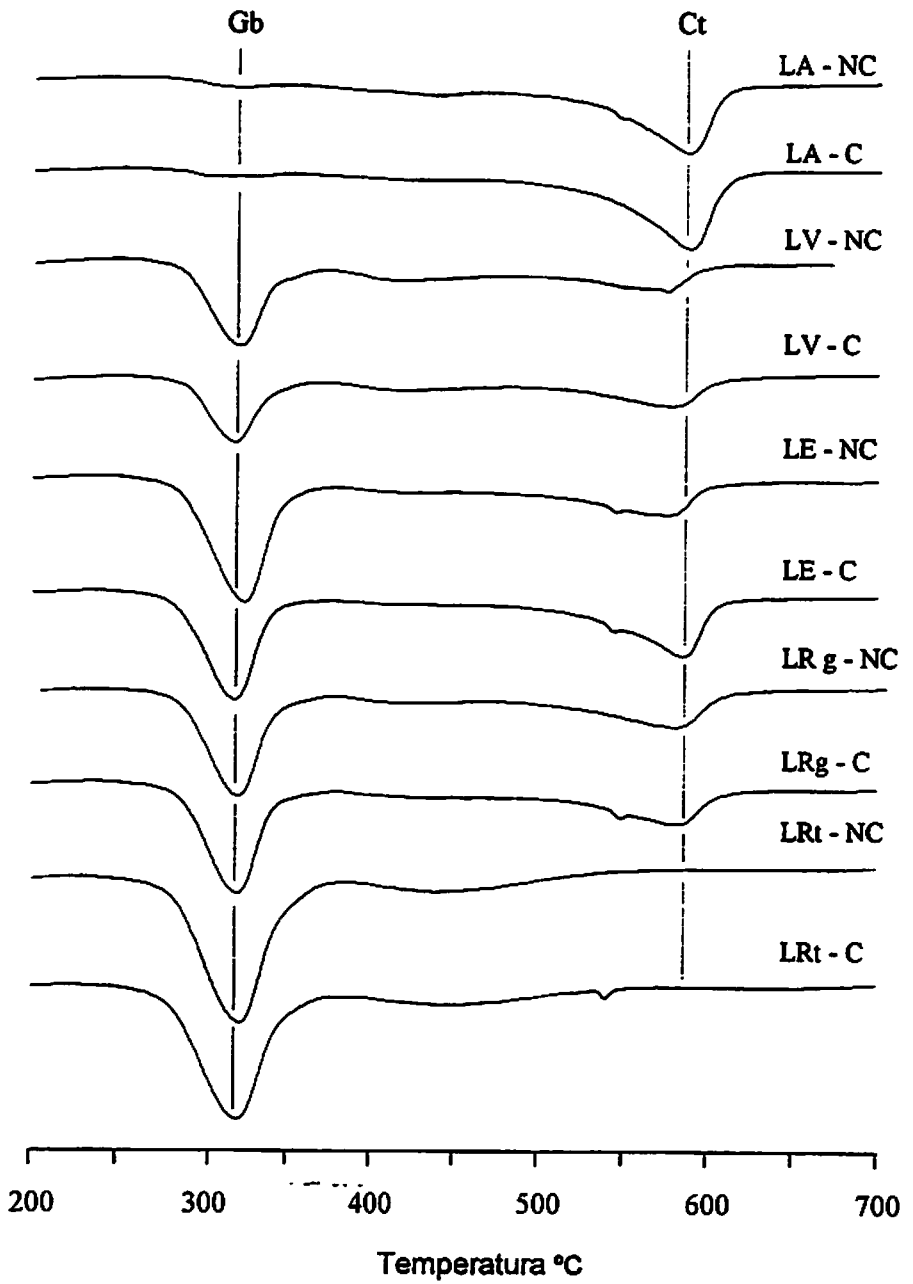


FIGURA 3. Termogramas da fração argila desferrificada. Ct = Caulinita; Gb = Gibbsita.

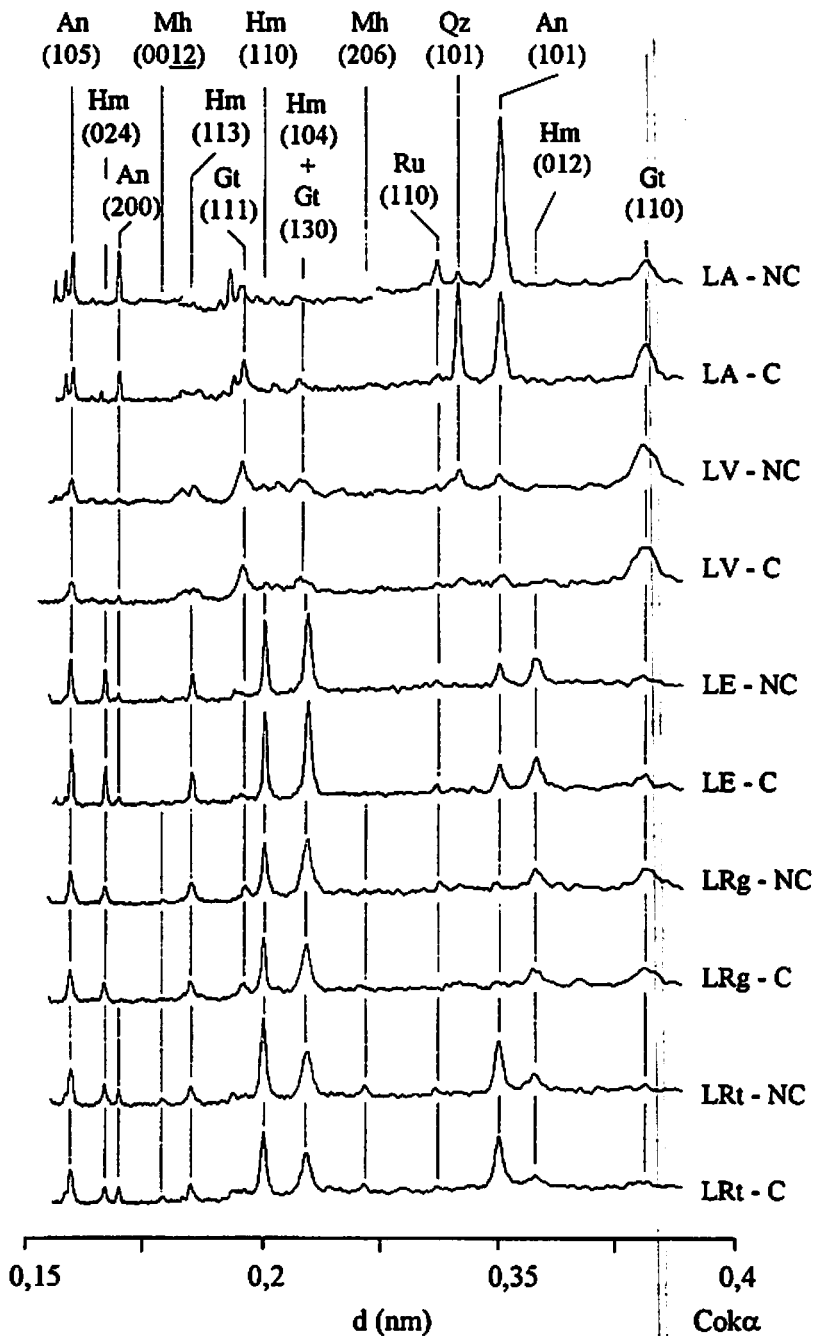


FIGURA 4. Difractogramas de raios-X da fração argila ferro-concentrada.
 Gt = Goethita; Hm = Hematita; An = Anatásio; Qz = Quartzo;
 Ru = Rutilo; Mh = Maghemita.

TABELA 4. Óxidos do ataque sulfúrico e índices Ki e Kr.

Solo	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ki	Kr
	----- g.kg ⁻¹ -----						
LA - NC	176,1	171,7	11,2	11,8	0,07	1,74	1,67
LA - C	177,7	182,1	19,4	12,2	0,07	1,66	1,55
LV - NC	90,4	140,5	30,6	8,4	0,12	1,09	0,96
LV - C	103,0	174,3	51,0	10,5	0,23	1,00	0,85
LE - NC	129,3	267,9	106,1	19,5	0,34	0,82	0,65
LE - C	189,3	322,7	123,2	22,6	0,46	1,00	0,80
LRg - NC	157,7	278,5	220,2	27,2	0,49	0,96	0,64
LRg - C	153,5	270,5	176,8	30,8	0,68	0,96	0,68
LRt - NC	52,8	239,0	325,9	73,5	8,30	0,38	0,20
LRt - C	41,2	225,6	378,6	88,9	10,37	0,31	0,15

orgânica, que dificultam a transformação da ferrihidrita em óxidos de ferro bem cristalizados. Assim, a ocorrência de valores mais baixos está condizente com a natureza latossólica dos solos estudados (Kämpf et al., 1988).

Os valores de Fe₂O₃ obtidos pelo ataque sulfúrico variaram entre 11,2 e 378,6 g.kg⁻¹ e situaram-se dentro dos limites requeridos para as respectivas classes de solos, enquanto os índices Ki e Kr (Tabela 4) diminuíram do LA para o LRt indicando, neste sentido, o aumento do caráter oxidico.

3.2. Mineralogia, química e adsorção de P

Os valores da capacidade máxima de adsorção de P, fornecidos pelo parâmetro *b* da equação de Langmuir, variaram entre 324 e 3.000 µg.g⁻¹ (Tabela 3), havendo uma tendência dos solos cultivados apresentarem valores mais baixos do que seus equivalentes não cultivados.

Os difratogramas de raios-X da fração argila desferrificada mostraram caulinita e gibbsita em diferentes proporções (Figura 2), tendo os valores da razão $Ct/(Ct+Gb)$ (Tabela 3), obtidos a partir dos termogramas da fração argila desferrificada (Figura 3), diminuído claramente do LA (caulinitico) para o LRt (gibbsítico), constatando-se correlação negativa significativa entre $Ct/(Ct+Gb)$ e a CMAF (Figura 5), em concordância com os dados de Ker (1995), o que sugere uma maior efetividade da gibbsita em relação à caulinita na fixação de P, embora haja um aumento no teor de Fe_d neste mesmo sentido.

Os difratogramas de raios-X da fração argila ferro-concentrada (Figura 4) mostraram a presença de goethita (reflexo a 4,18 nm) em todos os solos, enquanto no LE, LRg e LRt, a presença de hematita é indicada pelos reflexos a 0,368; 0,269; 0,253 e 0,220 nm.

A razão $Gt/(Gt+Hm)$, que expressa a proporção destes óxidos de ferro na fração argila ferro-concentrada, apresenta uma diminuição gradual de valores do LA para o LRt ($LA=LV<LRg<LE<LRt$), indicando a ocorrência isolada de goethita no LA e LV, um predomínio de hematita no LRt e proporções intermediárias no LRg e LE. A ocorrência de hematita no LE, LRg e LRt está em acordo com a coloração das amostras (Tabela 3), uma vez que a presença deste mineral na fração argila, mesmo em pequenas quantidades, é suficiente para tornar a amostra avermelhada, mascarando a cor amarelada da goethita (Scheffer et al., 1958; Resende, 1976).

A razão $Gt/(Gt+Hm)$ mostrou uma correlação negativa significativa com a CMAF (Figura 5), significando que a valores mais elevados dessa razão (amostra mais goethítica) corresponderiam valores mais baixos de CMAF e vice-versa. O que pode explicar esta aparente incongruência é o fato de que, dentro do grupo de solos estudados, no mesmo sentido em que aumenta o caráter goethítico (LRt → LA), há uma redução acentuada no conteúdo de Fe_d , que apresentou um alto índice de correlação com a CMAF (Figura 5). Neste

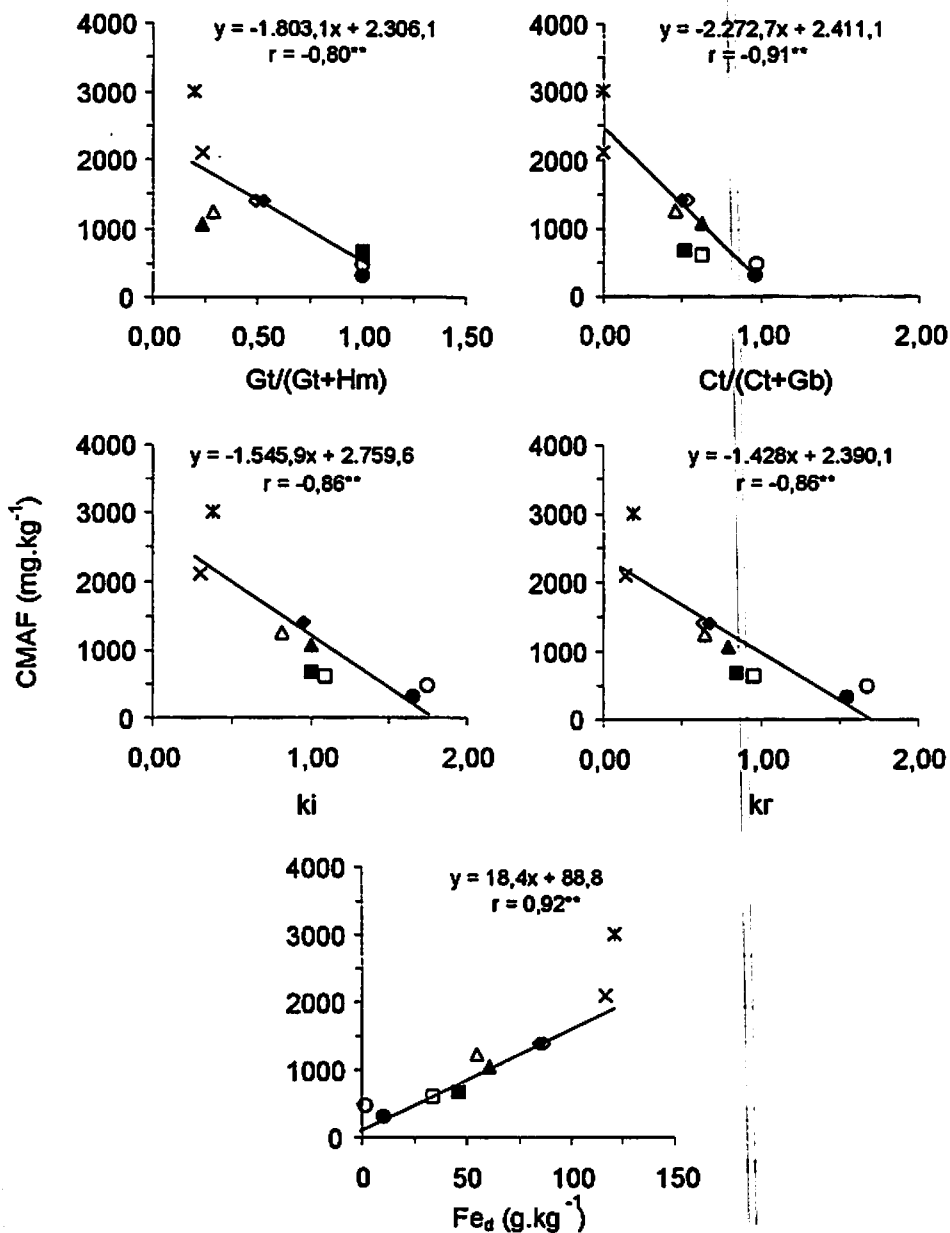
caso, portanto, o efeito da goethita na adsorção de P é superado pelo efeito da soma total de óxidos (goethita, hematita e gibbsita), que é mais baixa no LA e aumenta no sentido do LRt.

Os resultados de P_2O_5 "total" (tabela 4), quando se comparam pares de solos cultivados e não cultivados, confirmam, exceto para o LA, que os solos receberam muito P durante o período de cultivo. Como exemplo, pode ser citado o incremento verificado no LE-C em comparação ao LE-NC ($0,12 \text{ g.kg}^{-1}$). Assim, admitindo uma densidade de $1,3 \text{ t.m}^{-3}$, este valor representa, nos primeiros $0,2 \text{ m}$ (camada arável), $3,12 \text{ t.ha}^{-1}$ de P_2O_5 num solo submetido a adubações fosfatadas anuais.

Os valores das relações moleculares K_i e K_r (Tabela 4), que retratam o grau de intemperização do solo e, conseqüentemente, o grau de transformação de minerais primários em óxidos, correlacionaram-se de maneira negativa significativa com a CMAF (Figura 5), em consonância com os resultados de Curi et al. (1988).

Apesar da diversidade do material de origem dos solos, a substituição de Fe por Al na estrutura da goethita, a qual é refletida na área superficial específica deste mineral, permaneceu dentro do intervalo de $0,18$ a $0,33 \text{ mol.mol}^{-1}$ (Tabela 5), considerado por Fitzpatrick & Schwertmann (1982) como característico de ambientes oxidantes. Devido a não ter sido constatada uma tendência definida e ao baixo efeito relativo da goethita na adsorção de P destes solos, conforme discutido anteriormente, é de se esperar que a influência da substituição de Fe por Al na goethita não seja apreciável.

Vale ressaltar que a correlação entre teor de argila e CMAF não foi significativa ($r = 0,58$, Figura 1A), evidenciando a preponderância da influência da mineralogia e da química na adsorção de P dos Latossolos estudados.



OLA-NC ●LA-C □LV-NC ■LV-C △LE-NC ▲LE-C ◇LRg-NC ◆LRg-C ✕LRt-NC ✕LRt-C

** - Significativo a 1% de probabilidade

FIGURA 5. Correlações entre atributos do solo e capacidade máxima de adsorção de fósforo.

TABELA 5. Parâmetros relativos à substituição em alumínio na estrutura da goethita.

Solo	Distâncias Interplanares		Dimensão "C" da célula unitária	Substituição em alumínio mol.mol ⁻¹
	(110)	(111)		
	----- nm -----			
LA-NC	0,413	0,242	0,298	0,28
LA-C	0,413	0,241	0,298	0,28
LV-NC	0,411	0,241	0,297	0,29
LV-C	0,412	0,241	0,298	0,28
LE-NC	0,412	n.d. ¹	n.d.	n.d.
LE-C	0,412	0,241	0,297	0,33
LRg-NC	0,414	0,243	0,299	0,18
LRg-C	0,414	0,242	0,298	0,24
LRt-NC	0,413	0,242	0,298	0,27
LRt-C	0,413	0,242	0,299	0,21

¹ n.d. = não detectada.

3.3. Formas de P

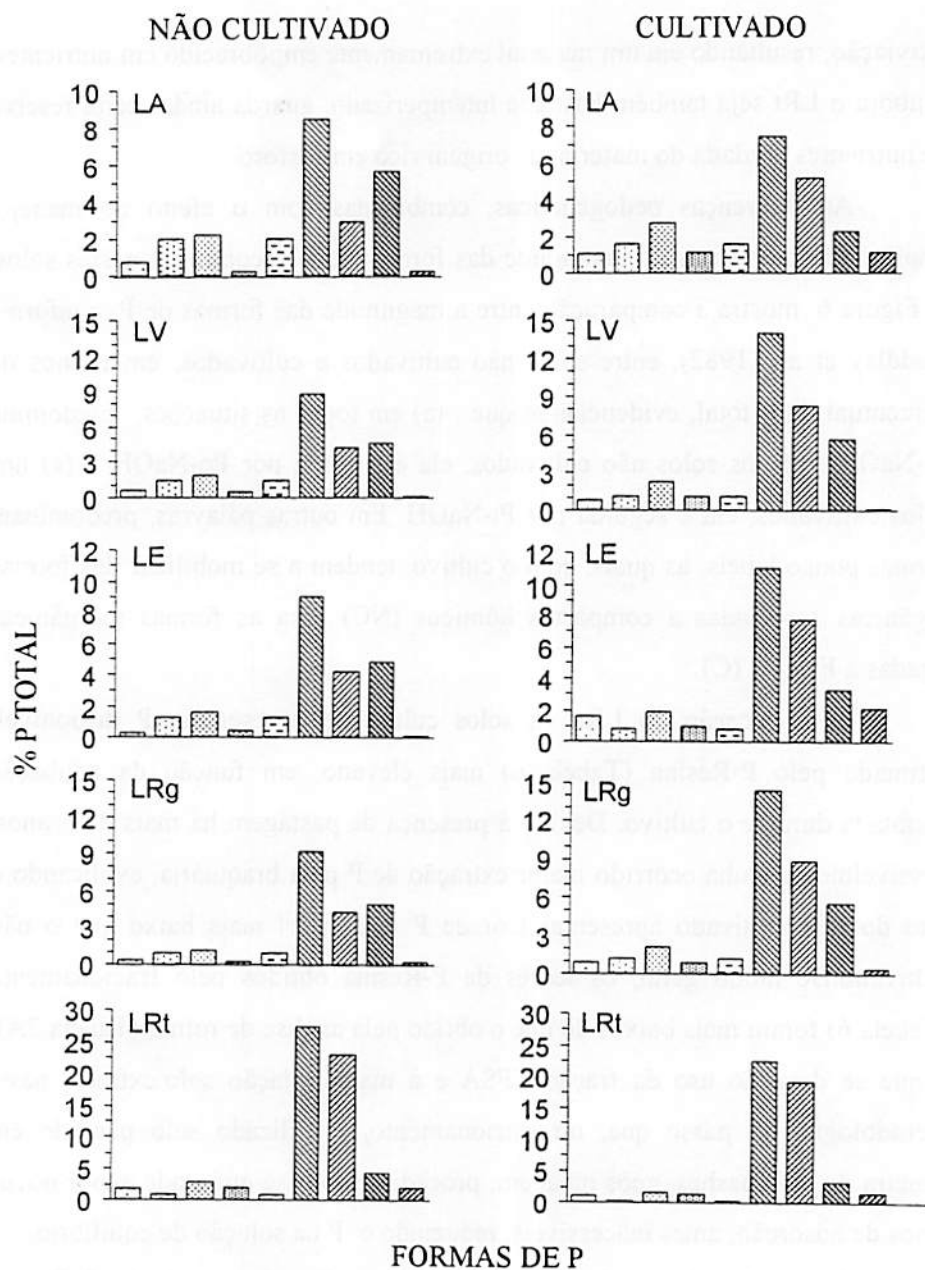
Em condições naturais, os teores de nutrientes nos solos são o resultado do balanço entre a riqueza da rocha de origem e o estágio de desenvolvimento do solo, que determina o seu grau de empobrecimento. Os sedimentos da Formação Barreiras e o gnaiss-granítico, que deram origem respectivamente ao LA e LV, são naturalmente pobres e originaram solos com reservas limitadas de nutrientes, mesmo não sendo tão intemperizados quanto o LE e os LR. O LRg, embora tenha se desenvolvido de uma rocha mais rica que o gnaiss, é mais intemperizado e mais empobrecido, não diferindo, em termos de fertilidade, do LV e do LA. O LE desenvolveu-se de sedimentos Terciários originalmente pobres que, por ocuparem superfícies geomórficas estáveis e muito antigas, estiveram submetidos a um longo período de intemperismo-

lixiviação, resultando em um material extremamente empobrecido em nutrientes. Embora o LRt seja também bastante intemperizado, guarda ainda certa reserva de nutrientes herdada do material de origem rico em fósforo.

As diferenças pedogenéticas, combinadas com o efeito do manejo, impingiram diferenças na magnitude das formas de P encontradas nestes solos. A Figura 6 mostra a comparação entre a magnitude das formas de P, conforme Heddeley et al. (1982), entre solos não cultivados e cultivados, em termos de percentual do P total, evidenciando que : (a) em todas as situações, predomina Pt-NaOH; (b) nos solos não cultivados, ela é seguida por Po-NaOH e (c) nos solos cultivados, ela é seguida por Pi-NaOH. Em outras palavras, predominam formas pouco lábeis, as quais, com o cultivo, tendem a se mobilizar das formas orgânicas associadas a compostos húmicos (NC) para as formas inorgânicas ligadas a Fe e Al (C).

Com exceção do LRt, os solos cultivados apresentam P disponível, estimado pelo P-Resina (Tabela 6) mais elevado, em função da adubação fosfatada durante o cultivo. Devido à presença de pastagem há mais de 5 anos, possivelmente tenha ocorrido maior extração de P pela braquiária, explicando o fato do LRt cultivado apresentar teor de P disponível mais baixo que o não cultivado. De modo geral, os teores de P-Resina obtidos pelo fracionamento (Tabela 6) foram mais baixos do que o obtido pela análise de rotina (Tabela 2A), o que se deve ao uso da fração TFSA e à maior relação solo:extrator nesta metodologia, ao passo que, no fracionamento, é utilizado solo passado em peneira de 100 meshes, após moagem, procedimento esse que pode expor novos sítios de adsorção, antes inacessíveis, reduzindo o P na solução de equilíbrio.

A exceção observada para o LRt, onde o conteúdo de P-Resina obtido pelo fracionamento é muito superior ao da análise de rotina, deve-se possivelmente à grande quantidade de P presente no interior dos agregados (Moura Filho & Boul, 1976; Linquist et al., 1997), que é liberada com a



□ P-resina □ P-microbiano □ Pt-bicarbonato □ Pi-bicarbonato
 □ Po-bicarbonato □ Pt-NaOH □ Pi-NaOH □ Po-NaOH □ P-HCl

FIGURA 6. Distribuição percentual das formas de P, conforme Hedley et al. (1982), em relação ao P total, nos solos estudados.

moagem e compensa a exposição de novos sítios de adsorção. Conforme observações de campo e durante o preparo das amostras para análise, ficou nitido que os agregados do LRt são os mais resistentes dentro do grupo de solos estudados. O P-Microbiano não diferiu muito entre solos cultivados e não cultivados exceto para o LRt, em que foi o dobro no solo não cultivado, em razão da sua maior riqueza em matéria orgânica (Tabela 2A).

O P-Bicarbonato, especialmente a fração inorgânica (Pi), foi mais elevado nos solos cultivados, o que indica a contribuição da adubação fosfatada durante o período de cultivo. Com exceção do LRt e do LE-C, a fração orgânica do P-Bicarbonato foi maior do que a inorgânica, constituindo 75 a 90% nos solos não cultivados e 52 a 58% nos cultivados. No LRt, o Pi-Bicarbonato foi superior ao Po tanto em solos cultivados quanto não cultivados. Também o P-NaOH, especialmente a fração inorgânica, foi maior nos solos cultivados, o que reflete também o efeito da adubação fosfatada. Exceto para o LRt, a fração orgânica (52 a 66% do Pt-NaOH) foi maior que a inorgânica nos solos não cultivados, ocorrendo o inverso nos solos cultivados, onde a fração inorgânica constituiu 59 a 69% do Pt-NaOH. No LRt, a fração inorgânica foi maior, independente do histórico de uso. O P-NaOH, fração equivalente ao P menos prontamente disponível, ligado mais fortemente a Fe e Al (Hedley et al., 1982; Tiessen & Moir, 1993), aumenta gradativamente do LA para o LRt (Tabela 6), na mesma ordem da CMAF (Tabela 3). Já o P-HCl, que corresponde ao P ligado a cálcio, foi maior nos solos cultivados, à exceção dos LRt, o que pode ser atribuído ao maior conteúdo de Ca introduzido pelas calagens ao longo do período de cultivo (Tabela 6).

As formas P-Al e P-Fe, determinadas segundo Chang & Jackson (1957), dominam amplamente sobre o P-Ca (Tabela 7). Os aumentos relativos de P-Al e P-Fe com o cultivo indicam a importância das adubações fosfatadas nestes valores. O P-Al predomina no LA, onde a razão P-Fe/(P-Al + P-Fe) é 0,31 no

TABELA 6. Formas de P (mg.kg^{-1}), segundo Hedley et al. (1982), em cinco latossolos submetidos (C) ou não (NC) ao cultivo prévio.

Formas de P	LA		LV		LE		LRg		LRt	
	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C
P-Resina	6,6	13,3	6,7	12,9	4,1	30,3	7,8	18,4	129,9	86,5
P-Microbiano	17,2	20,2	18,2	18,0	18,2	15,9	20,3	26,5	59,5	23,4
Pt-Bicarbonato	19,2	34,9	24,4	34,8	24,4	34,8	24,4	45,4	212,4	128,4
Pi-Bicarbonato	2,0	14,6	6,2	16,8	6,2	18,9	4,1	18,9	153,0	105,0
Po-Bicarbonato	17,2	20,2	18,2	18,0	18,2	15,9	20,3	26,5	59,5	23,4
Pt-NaOH	72,6	94,9	111,9	220,6	135,2	208,0	201,7	308,2	2.035,5	1.894,3
Pi-NaOH	24,7	65,9	54,0	131,2	63,5	145,6	93,4	189,0	1.707,7	1.615,0
Po-NaOH	47,9	29,0	57,9	89,4	71,6	62,4	108,3	119,2	327,7	279,4
P-HCl	2,0	14,6	1,0	2,0	1,0	41,1	6,2	9,5	150,0	135,2
P-Residual	650,1	969,4	969,1	1.036,3	1.162,4	1.320,4	1.719,6	1.369,8	2.581,1	4.113,3

TABELA 7. Fósforo ligado a Al, Fe e Ca (mg.kg^{-1}), segundo Chang & Jackson (1957), em cinco Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Formas de P	LA		LV		LE		LRg		LRt	
	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C
P-Al	22	50	20	63	23	79	35	87	703	504
P-Fe	10	39	28	91	35	85	66	110	839	839
P-Ca	1	2	2	3	5	33	6	7	283	341
P-Ca/(P-Al + P-Fe)	0,03	0,02	0,04	0,02	0,06	0,20	0,06	0,04	0,18	0,25

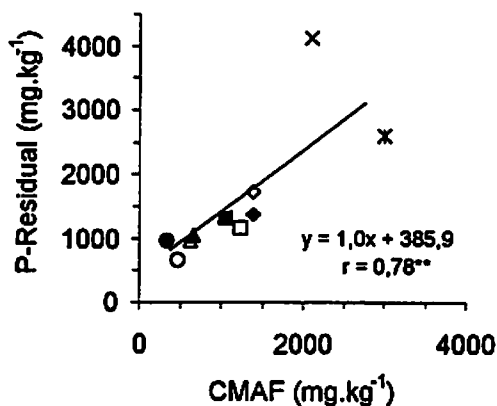
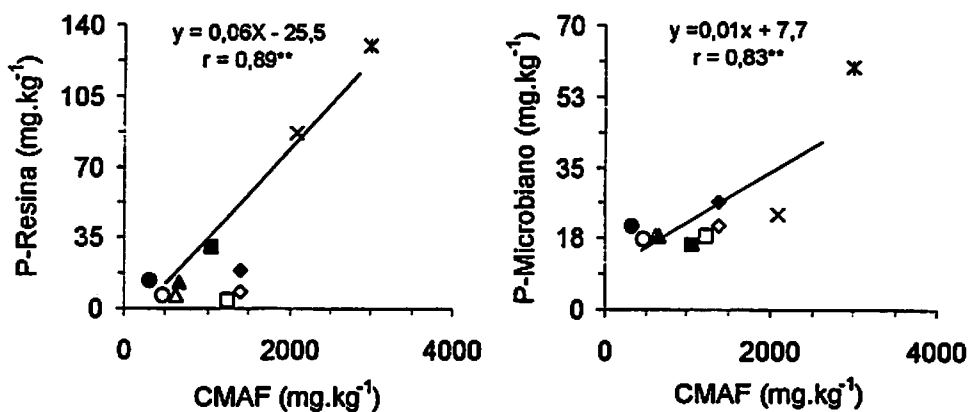
solo não cultivado e 0,44 no cultivado, enquanto o P-Fe predomina no restante dos solos, onde os valores daquela razão variam entre 0,52 e 0,65, em consonância com os baixíssimos teores de Fe "total" no LA (Tabela 4).

Chama a atenção o fato do valor de P-Ca no LA cultivado ser 7 vezes menor que o seu equivalente pela metodologia de Hedley et al. (1982), P-HCl (Tabela 6). Os maiores valores da relação P-Ca/(P-Al + P-Fe) são observados no LE-C e nos LRt (NC e C). No primeiro caso, isto se deve ao uso de calagens e adubações fosfatadas pesadas ao longo dos anos, sendo raríssimo, no Brasil, encontrar-se LE com teores tão elevados de P disponível (Tabela 2A). No caso do LRt, a riqueza original do solo em P ajuda a explicar tais resultados, pois não há muita variação nesta taxa entre o solo cultivado e não cultivado.

Foram obtidas correlações positivas significativas entre as formas de P pela metodologia de Hedley et al. (1982) e a CMAF (Figura 7).

3.4. Fósforo extraído por Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina de troca iônica

A resina extraiu mais P que os extratores Mehlich-1 (M-1) e Mehlich-3 (M-3) nos solos não cultivados e no LV e LRg cultivados (Tabela 8). Nestes solos, a quantidade absoluta de P ligado a cálcio (P-HCl) é muito baixa ou pelo



○LA-NC ●LA-C △LV-NC ▲LV-C □LE-NC ■LE-C ◇LRg-NC ◆LRg-C ×LRt-NC ×LRt-C

** Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

FIGURA 7. Correlações lineares entre formas de P, segundo metodologia de Hedley et al. (1982), e capacidade máxima de adsorção de P (CMAF).

TABELA 8. Fósforo disponível (mg.dm^{-3}), extraído com Resina (R), Mehlich-3 (M-3) e Mehlich-1 (M-1), em cinco latossolos previamente cultivados (C) ou não (NC). (Médias de 5 repetições)

Extrator	LA		LV		LE		LRg		LRt	
	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C
R	11 a	23 a	10 a	27 a	7 a	48 a	17 a	18 a	91 a	56 ab
M-3	8 ab	25 a	5 ab	14 b	4 b	17 b	3 b	9 b	52 c	39 b
M-1	4 b	22 a	4 b	12 b	2 b	45 a	3 b	7 b	78 b	63 a

Valores seguidos pela mesma letra no sentido das colunas, não diferem entre si (Tukey, 1 %)

menos mais baixa que aquela presente nas formas mais lábeis de P ligado a Al e Fe, estimado pelo P-Bicarbonato (Hedley et al., 1982; Pavan, 1996) (Tabela 6), o que está de acordo com Raij (1991), segundo o qual os extratores ácidos extraem preferencialmente P-Ca, ao passo que a resina extrai as formas lábeis de P, sejam elas P-Al, P-Fe ou P-Ca.

No LE-C, LRt-NC e LRt-C, onde a relação $P-Ca/(P-Al + P-Fe)$ foi mais alta (Tabela 7), o M-1 extraiu mais P do que o M-3, o que indica que o M-1 extrai mais P-Ca do que o M-3 (Tabela 8), evidenciando a importância da associação entre formas e extratores de P na interpretação acurada de resultados de análise deste nutriente no solo.

4. CONCLUSÕES

1. À medida que a mineralogia dos Latossolos se torna mais oxidica aumenta a adsorção de P, o teor total e as formas ligadas mais fortemente a Al e Fe.
2. O cultivo influenciou de modo diferenciado a adsorção de P e aumentou as formas de P ligado a Ca em todos os solos.
3. As formas pouco lábeis de P predominam nos Latossolos estudados, destacando-se as orgânicas associadas a compostos húmicos nos não cultivados e as inorgânicas ligadas a Fe e Al nos cultivados.
4. A resina extrai maior quantidade de P do que os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 nos Latossolos não cultivados, enquanto nos cultivados esta apresentou comportamento diferenciado entre os solos.

5. BIBLIOGRAFIA

- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A.C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de latossolos do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, n.3, p.221-226, 1983
- CHANG, S.C.; JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorous. **Soil Science**, Baltimore, v.84, n.1, p.133-144, 1957.
- CURI, N.; CAMARGO, O.A.; GUEDES, A.; SILVEIRA, J.V. Sorção de fósforo em materiais de latossolos do Brasil sudeste. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA, 3, Rio de Janeiro, 1988. Anais... Rio de Janeiro, EMBRAPA - SNLCS, SBCS, 1988. p.267-282.
- CURI, N.; FRANZMEIER, D.P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisols in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.153-158, 1987.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle - size analysis. In: BLACK, C.A. (ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: ASA, v.1, p.545-556, 1965.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997, 212p. *
- FITZPATRICK, R.W.; SCHWERTMANN, U. Al-substituted Goethite - an indicator of pedogenic and other weathering environments in South Africa. **Geoderma**, Amsterdam, v.27, p.335-347, 1982.
- FROSSARD, E.; BROSSARD, M.; HEDLEY, M.J.; METHERELL, A. Reactions controlling the cycling of P in soils. In: TIESSEN, H.(ed) **P cycling in terrestrial and aquatic ecosystem; a global perspective**. New York, John Wiley & Son, p.1-65, 1994.
- HEDLEY, M.J.; STEWARD, W.B.; CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fraction induced by cultivation practices and laboratory incubation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, p.970-976, 1982.

- KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U.** The 5M-NaOH Concentration Treatment for Iron Oxides in Soils. *Clay and Clays Minerals*. Ottawa, v.30, p.401-408.1982
- KÄMPF, N.; RESENDE, M; CURI, N.** Iron Oxides in Brazilian Oxisols. In: *Proceedings of the Eighth International Soil Classification Workshop*. EMBRAPA/SMSS/UPR. Rio de Janeiro: p.190-199, 1988.
- KER, J.C.** Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil. Viçosa, UFV, 1995. 181p. (Tese de Doutorado).
- KLUG, H. P.; ALEXANDER, L. E.** X-ray diffraction procedures for polycrystalline and amorphous materials. New York: John Wiley, 1974. 966p.
- LEAL, J.R.; VELOSO, A.C.S.** Adsorção de fosfato em latossolo sob vegetação de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.8, p.81-88, 1973.
- LEMOS, M.S.S; CURI, N.; MARQUES, J.J.G.S.M.; ERNESTO SOBRINHO, F.** Evaluation of characteristics of Cambisols derived from limestone in low tablelands in northeastern Brazil: Implications for management. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.32, n.8, p.825-834, 1997.
- LINQUIST, B.A.; SINGLETON, P.W.; YOST, R.S.; CASSMAN, K.G.** Aggregate size effects on the sorption and release of phosphorus in an Ultisol. *Soil Science Society of American Journal*, v.61, p.160-166, 1997.
- MALAVOLTA, E.** *Manual de química agrícola; nutrição de plantas e fertilidade do solo*. Ceres, São Paulo, 1976. 528p.
- MEHLICH, A.** Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science Plant Analysis*, New York, v.15, n.12, p.1409-1416, 1984.
- MEHRA, O. P. & JACKSON, M. L.** Iron Oxide Removal from Soils and Clays by Dithionite-Citrate System Buffered with Sodium Bicarbonate. In: *NATIONAL CONFERENCE ON CLAY and CLAY MINERALS, 7th*. Washington, D.C., 1958. *Proceedings...* p.317-327, 1960.

- MOURA FILHO, W.** Studies of a Latosol Roxo (Eutrústox) in Brazil: Micromorphology effect on ion release. *Experientiae*, Viçosa, v.21, n.8, p.161-177, 1976.
- MURPHY, J.; RILEY, J.P.** A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, v.27, p.31-36, 1962.
- OLSEN, S.R.; WATANABE, F.S.** A method to determine a phosphorous adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.21, p.144-149, 1957.
- PARFITT, R.L.** The availability of P from phosphate-goethite binding complexes, desorption and uptake by ryegrass. *Plant and Soil*, The Hague, v.53, p.55-65, 1979.
- PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.** Alterações nas frações de fósforo no solo associadas com a densidade populacional de cafeeiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.20, n.2, p.251-256, 1996.
- RAIJ, B. van.** Fertilidade do Solo e Adubação. Piracicaba, Ceres, 1991.343p.
- RAJAN, S.S.S.; FOX, R.L.** Phosphate adsorption by soils. I. Influence of time and ionic environment on phosphate adsorption. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.3, p.493-504, 1972.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F.** Pedologia: base para distinção de ambientes. Viçosa, NEPUT, 1997, 367p. 2ª ed. Rev. e ampl.
- RESENDE, M.** Mineralogy, chemistry morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil. West Lafayette, Purdue University, 237p., 1976 (Tese de Ph.D.).
- SANCHEZ, P.A.; UEHARA, G.** Management Considerations for Acid Soils with High P Fixation Capacity. In: **KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E. J.** (eds) *The Role of Phosphorous in Agriculture*, Madison, American Society of Agronomy, p.471-514, 1980.
- SCHEFFER, F.; WESTLE, E.; LUDWEIG, F.** On the question of hydrated iron oxides in soil. *Chem. Erde*, Jena, p.18-19:51-64, 1958.

- SCHULZE, D. G. The influence of Aluminum on Iron Oxides. VII: Unit Cell Dimensions of Al Substituted Goethites and Estimation of Al from them. *Clays and Clay Minerals*, Ottawa, v. 32, p.36-44, 1984.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxide des Bödens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-lösung. *Zeitschrift fuer Pflanzenernaehrung und Bodenkunde*, Leipzig, v.105, p.105-202. 1964.
- TIESSEN, 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 60-90 years of cultivation. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.34, p.815-823, 1983.
- VETTORI, L. *Métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim técnico, 7).
- VOLKWEISS, S.; RAIJ, B. van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: FERRI, M.G., coord. *SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO; bases para utilização agropecuária*, 4, Belo Horizonte, 1977. Anais... São Paulo, USP, 1977. p.317-332.
- WILLETT, I.R.; CHARTRES, C.J.; NGUYEN, T.T. Migration of phosphate into aggregated particles of ferrihydrite. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.89, p.275-282, 1988.

CAPÍTULO 3

RESPOSTA DE SOJA E BRAQUIÁRIA À APLICAÇÃO DE FÓSFORO E INOCULAÇÃO MICORRÍZICA EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES HISTÓRICO DE USO, MINERALOGIA E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO

MOTTA, Paulo Emilio Ferreira da. Resposta de soja e braquiária à aplicação de fósforo e inoculação micorrizica em Latossolos com diferentes histórico de uso, mineralogia e disponibilidade de fósforo. Lavras, UFLA, 1999. Cap.3. 71 p. (Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)*

RESUMO

Para compensar a imobilização do P no solo, é comum a aplicação de fosfatos em doses superiores às necessidades das culturas. Estudos recentes têm mostrado que, ao contrário do que se acreditava, apenas uma parte deste excesso é recuperada nos cultivos posteriores. O uso de plantas mais eficientes no aproveitamento de formas de P menos lábeis, assim como o uso da micorrização, podem constituir alternativas para a maximização da recuperação do P imobilizado. Este trabalho objetivou avaliar a resposta de soja e braquiária à adição de P e inoculação com fungo micorrizico-arbuscular em Latossolos com diferentes histórico de uso, mineralogia e disponibilidade de P. Empregaram-se cinco Latossolos (LA, LV, LE e dois LR, desenvolvidos de gabro, LRg, e de tufo, LRt), coletados sob vegetação nativa e em áreas adjacentes já cultivadas por longos períodos, onde receberam calagens e adubações fosfatadas periódicas. Os solos receberam adubação básica de modo a nivelar os macro e micronutrientes, exceto P, foram fumigados e, após a aplicação dos tratamentos, cultivados em casa de vegetação por dois períodos consecutivos de 10 semanas com soja (*Glycine max*) e braquiária (*Brachiaria decumbens*), adotando-se um DIC em esquema fatorial 2x2x2, com quatro repetições, sendo os tratamentos: histórico (cultivado e não cultivado), aplicação de duas doses de P (P1 e P2), estas definidas com base em um experimento preliminar, e inoculação com o fungo micorrizico arbuscular *Glomus etunicatum*

* Comitê de Orientação: Nilton Curi e José Oswaldo Siqueira – UFLA (Orientadores)

(inoculado e não inoculado). Foram avaliados a produção de matéria seca, concentração e acúmulo de P na parte aérea e colonização micorrizica.

Apesar de pertencerem ao mesmo grupamento taxonômico, os solos tiveram comportamento diferenciado quanto à resposta aos fatores estudados. O cultivo reduziu a resposta a P e à inoculação, tendo que a magnitude desta redução também variado com o solo. A resposta a P foi diferenciada entre os solos, maior ou menor em relação ao cultivo e menor nas plantas inoculadas, devido ao maior aproveitamento do P do solo por estas. A resposta de ambas espécies à inoculação foi muito influenciada pelo cultivo, sendo em geral maior nos solos cultivados, ocorrendo, todavia, variações de acordo com a classe de solo. Foi também afetada pelas doses de P, sendo menor na maior dose deste nutriente, neste caso independentemente do solo. A presença de micorrizas influenciou a relação entre o P no solo por diferentes extratores e o P absorvido pelas plantas.

ABSTRACT

RESPONSE OF SOYBEAN AND BRACHIARIA TO PHOSPHORUS APPLICATION AND MYCORRHIZAL INOCULATION IN LATOSOLS (OXISOLS) WITH DIFFERENT HISTORICAL OF USE, MINERALOGY AND PHOSPHORUS AVAILABILITY*

To compensate for P immobilization in soil it is common the application of phosphates in doses higher than the crop needs. Recent studies have shown that only a part of this excess is recovered in further cultivations. The use of more efficient plants in utilizing less available P forms, as well as the use of mycorrhizae can constitute alternatives for maximizing the recovering of immobilized P. This work aimed to evaluate the response of soybean and brachiaria to P addition and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus in Latosols (Oxisols) with different historical of use, mineralogy and P availability. We used five Latosols (Yellow, Red-Yellow, Dark-Red and two Dusky-Red, developed from gabbro and tuffite), collected under native vegetation and in adjacent areas already cultivated during long periods, where received basic fertilization in order to level the macro and micronutrients, except P, were fumigated and, after the application of treatments, cultivated in greenhouse conditions for two consecutive periods of 10 weeks with soybean (*Glycine max*) and brachiaria (*Brachiaria decumbens*), utilizing a completely randomized design in a 2x2x2 factorial scheme, with four replications, being the treatments: historical (cultivated and non-cultivated), application of two P doses (P1 and P2), which were defined with basis upon a preliminary experiment, and inoculation with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus etunicatum* (inoculated and non-inoculated). The dry matter production, shoot P concentration and accumulation, and the mycorrhizal colonization were evaluated.

Although the soils pertain to the same taxonomic group, they had differential behavior in relation to the response to the studied factors. The cultivation reduced the response to P and inoculation, being that the magnitude of this reduction also varied with the soil. The response to P was differentiated among the soils, higher or smaller in relation to cultivation and smaller in the inoculated plants, due to the higher P uptake by them. The response of both species to inoculation was highly influenced by cultivation, being in general higher in the cultivated soils occurring, however, variations according to the soil

* Guidance committee: Nilton Curi and José Oswaldo Siqueira – UFLA (Advisers)

class. It was also affected by the P doses, being smaller in the higher dosis of this nutrient, in this case independently of the soil. The presence of mycorrhizae influenced the relationships between the soil P by different extractants and the P absorbed by plants.

1. INTRODUÇÃO

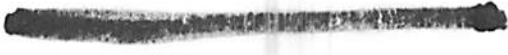
Embora o fósforo seja um dos macronutrientes menos exigidos pelas plantas, em termos quantitativos, é o elemento que com mais freqüência tem limitado a produção agrícola em condições brasileiras. Normalmente é aplicado em quantidades acima das exigidas pelas culturas, de maneira a compensar a parcela que será imobilizada através das fortes interações que apresenta com constituintes do solo. Esta imobilização é mais importante em solos ricos em cálcio e em solos ácidos, mais ricos em óxidos de ferro e de alumínio, como os Latossolos, solos cujas características físicas são amplamente favoráveis à exploração intensiva, o que requer invariavelmente, entretanto, um programa de adubação visando a adequação da fertilidade. Esta compensação justificou, no passado, a aplicação pesada de adubos fosfatados tanto nas linhas de plantio como a lanço, procedimento considerado como um investimento de retorno a longo prazo, já que acreditava-se que o excesso aplicado seria integralmente recuperado pelas culturas subseqüentes, tendo sido aplicado em grandes extensões de solos no Planalto Central Brasileiro, com o avanço da fronteira agrícola para a região dos cerrados. Estudos posteriores (Lobato, 1982) indicaram, no entanto, que mesmo considerando o efeito residual, a recuperação do P aplicado no solo é incompleta, dificilmente ultrapassando 50%, especialmente nos Latossolos com mineralogia mais oxidica, onde a adsorção é maior e o P tende a ocorrer em formas menos lábeis em comparação àqueles com mineralogia mais caulinitica.

De modo a garantir a produção agrícola continuada em níveis de produtividade satisfatórios, o uso sustentável da terra exige o uso eficiente de todos os recursos da produção. No caso dos fertilizantes fosfatados, esta necessidade é ainda mais crucial tendo em vista que as fontes são bastante limitadas, encontrando-se próximas da exaustão (Tinker, 1977). A utilização

mais eficiente desse insumo requer tanto a redução da imobilização, pela determinação do modo mais adequado de aplicação e incorporação do adubo, quanto o melhor aproveitamento de formas pouco solúveis deste nutriente no solo, como fosfatos de Al, Fe e Ca, formas estas em que se encontra a maior parte do P não recuperável pelas culturas nos solos ácidos tropicais.

As micorrizas, associações simbióticas mutualistas entre certos fungos do solo e a maioria das espécies vegetais, têm se mostrado eficientes na maximização do uso dos fertilizantes fosfatados aplicados a solos deficientes e com elevada capacidade de adsorção de fósforo. Até pouco tempo, acreditava-se que as plantas micorrizadas tinham acesso às mesmas formas de P que as plantas não micorrizadas (Bolan, 1991), contudo aquelas apresentavam maior eficiência no seu aproveitamento. Sabe-se hoje, entretanto, que as micorrizas são capazes de mobilizar P do solo através de modificações químicas na rizosfera. Alves (1988) constatou que a braquiária e o estilosantes são capazes de absorver P fixado ou retido no solo quando inoculados com fungos micorrizicos arbusculares. No entanto, as plantas diferem bastante quanto ao benefício alcançado com esta associação. A braquiária apresenta uma dependência micorrizica, ou seja, o quociente da produção da planta micorrizada em relação à planta não micorrizada multiplicado por 100, próximo de 120 %, enquanto a soja atinge valores de até 360 % (Siqueira & Franco, 1988).

A resposta à micorrização, segundo Fitter (1991), é determinada por dois processos opostos; um efeito estimulante, devido ao aumento da absorção de P, e um efeito detrimental, causado pelo dreno de fotossintatos do hospedeiro. Sob condições de suprimento adequado de P, o desenvolvimento da micorriza é reduzido e a planta hospedeira mostra pequeno efeito da inoculação (Siqueira & Franco, 1988), embora plantas bem nutridas não se tornem imunes à infecção, podendo o fungo, mesmo em baixa colonização, ainda drenar fotossintatos e causar redução no desenvolvimento do hospedeiro (Peng et al.,1993). Os



benefícios da simbiose para a planta dependem, portanto, do balanço entre o dreno de fotossintatos, causado pelo fungo, e sua capacidade de promover modificações que favoreçam o crescimento da planta (Siqueira & Franco, 1988).

O objetivo deste trabalho foi avaliar, em Latossolos com diferentes mineralogia e disponibilidade de P, submetidos ou não ao cultivo, a resposta à adição de P e à inoculação com fungo micorrízico-arbuscular, de duas espécies (soja e braquiária) contrastantes na capacidade de absorção deste nutriente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Com vistas à avaliação da resposta à elevação dos níveis de P e o efeito da micorrização, foi utilizado um grupo de 5 dos principais Latossolos brasileiros, englobando diferentes históricos de uso, mineralogias e conseqüentes disponibilidades de P, conforme caracterização no Capítulo 2.

2.1. Preparo dos solos e tratamentos

As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 5 mm, sendo em seguida separadas em subamostras que foram passadas em peneira de 2 mm e encaminhadas ao laboratório para as análises químicas.

Visando minimizar as diferenças na fertilidade entre cada solo cultivado e não cultivado, os solos receberam adubação básica combinada com a aplicação das doses de P, que constituiram os tratamentos, utilizando-se uma combinação de fontes (Tabelas 1 a 4) de maneira a fornecer potássio e enxofre nas concentrações de 80 e 35 mg kg⁻¹, respectivamente. Além de P e S, os vasos destinados ao cultivo da braquiária receberam 80 mg kg⁻¹ N. Em todos os casos, os elementos acompanhantes em cada fonte foram computados no cálculo da adubação. Todos os vasos receberam micronutrientes de maneira a atingirem as

TABELA 1. Fontes e quantidades de nutrientes aplicadas como adubação básica e dose maior de P nos solos cultivados com braquiária.

Fonte	Quantidade (g/vaso)	Concentração no solo (ppm)			
		N	P	K	S
LA, LV, LRg					
NH ₄ H ₂ PO ₄	2,23	68	150	-	-
NH ₄ NO ₃	0,15	12	-	-	-
K ₂ SO ₄	0,69	-	-	77	32
Total		80	150	77	32
LE					
NH ₄ H ₂ PO ₄	2,06	63	139	-	-
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,58	31	-	-	35
KH ₂ PO ₄	1,07	-	61	77	-
Total		94	200	77	35
LRT					
NH ₄ H ₂ PO ₄	2,06	63	139	-	-
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,58	31	-	-	35
KH ₂ PO ₄	1,07	-	61	77	-
H ₃ PO ₄	1,26	-	100	-	-
Total		94	300	77	35

LA: Latossolo Amarelo; LV: Latossolo Vermelho-Amarelo; LE: Latossolo Vermelho-Escuro; LRg: Latossolo Roxo de gabro; LRT: Latossolo Roxo de tufito.

seguintes concentrações no solo (mg.kg⁻¹): B (0,8); Fe (3,0); Cu (1,5); Mn (3,6); Zn (5,0); Mo (0,15) (Tabela 5). Calcário foi fornecido para elevação da saturação por bases a 60 %, tendo sido utilizado calcário dolomítico com relação Ca:Mg de aproximadamente 4:1 e PRNT próximo de 100%. As quantidades aplicadas por solo são mostradas na Tabela 6.

Com exceção do calcário dolomítico e do CaSO₄.2H₂O, fornecidos na forma de pó, os demais nutrientes foram aplicados, após a calagem, na forma de

TABELA 2. Fontes e quantidades de nutrientes aplicadas como adubação básica e dose menor de P nos solos cultivados com braquiária.

Fonte	Quantidade (g/vaso)	Concentração no solo (ppm)			
		N	P	K	S
LA, LV, LRg					
NH ₄ H ₂ PO ₄	0,22	7	15	-	-
NH ₄ NO ₃	0,84	73	-	-	-
K ₂ SO ₄	0,69	-	-	77	32
Total		80	15	77	32
LE					
NH ₄ H ₂ PO ₄	0,30	9	20	-	-
NH ₄ NO ₃	0,81	71	-	-	-
K ₂ SO ₄	0,69	-	-	77	32
Total		80	20	77	32
LRt					
NH ₄ H ₂ PO ₄	0,45	14	30	-	-
NH ₄ NO ₃	0,76	66	-	-	-
K ₂ SO ₄	0,69	-	-	77	32
Total		80	30	77	32

LA: Latossolo Amarelo; LV: Latossolo Vermelho-Amarelo; LE: Latossolo Vermelho-Escuro; LRg: Latossolo Roxo de gabro; LRt: Latossolo Roxo de tufo.

solução nutritiva e misturados aos solos para melhor uniformização, sendo os macro e micronutrientes aplicados em soluções distintas.

As doses de P, que constituíram tratamentos, foram definidas com base em ensaio preliminar com milho (Cargill 808), em casa de vegetação, através do qual foram determinadas curvas de produção de matéria seca para cada solo (cultivado e não cultivado), em função das seguintes concentrações de P no solo: 0; 50; 100; 200 e 400 mg.kg⁻¹, aplicadas na forma de superfosfato triplo moído.

TABELA 3. Fontes e quantidades de nutrientes aplicadas como adubação básica e dose maior de P nos solos cultivados com soja.

Fonte	Quantidade (g/vaso)	Concentração no solo (ppm)			
		Ca	P	K	S
LA, LV, LRg					
KH ₂ PO ₄	1,12	-	64	80	-
Ca (H ₂ PO ₄) ₂ . H ₂ O	1,41	56	86	-	-
Ca SO ₄ . 2H ₂ O*	0,75	44	-	-	35
Total		100	150	80	35
LE					
KH ₂ PO ₄	1,12	-	64	80	-
Ca (H ₂ PO ₄) ₂ . H ₂ O	1,41	56	86	-	-
Ca SO ₄ . 2H ₂ O*	0,75	44	-	-	35
H ₃ PO ₄	0,63	-	50	-	-
Total		100	200	80	35
LRt					
KH ₂ PO ₄	1,12	-	64	80	-
Ca (H ₂ PO ₄) ₂ . H ₂ O	1,41	56	86	-	-
Ca SO ₄ . 2H ₂ O*	0,75	44	-	-	35
H ₃ PO ₄	1,90	-	150	-	-
Total		100	300	80	35

* Aplicado na forma de pó.

LA: Latossolo Amarelo; LV: Latossolo Vermelho-Amarelo; LE: Latossolo Vermelho-Escuro; LRg: Latossolo Roxo de gabro; LRt: Latossolo Roxo de tufito.

Para o Latossolo Roxo derivado de tufito, que possui uma capacidade de adsorção de P excepcionalmente elevada (3000 µg.g⁻¹, capítulo 2), utilizou-se também a concentração de 600 mg.kg⁻¹. Neste ensaio preliminar, os solos receberam calcário dolomítico, antes do plantio, para elevação da saturação por bases a 60 %, além de 80 mg kg⁻¹ N, como NH₄NO₃, 50 mg kg⁻¹ S e 120 mg kg⁻¹

TABELA 4. Fontes e quantidades de nutrientes aplicadas como adubação básica e dose menor de P nos solos cultivados com soja.

Fonte	Quantidade (g/vaso)	Concentração no solo (ppm)			
		Ca	P	K	S
LA, LV, LRg					
KH ₂ PO ₄	0,26	-	15	19	-
K ₂ SO ₄	0,54	-	-	61	25
Ca SO ₄ . 2H ₂ O*	0,22	13	-	-	10
Total		13	15	80	35
LE					
KH ₂ PO ₄	0,35	-	20	26	-
K ₂ SO ₄	0,48	-	-	54	23
Ca SO ₄ . 2H ₂ O*	0,26	15	-	-	12
Total		15	20	80	35
LRt					
KH ₂ PO ₄	0,53	-	30	38	-
K ₂ SO ₄	0,37	-	-	42	17
Ca SO ₄ . 2H ₂ O*	0,39	23	-	-	18
Total		23	30	80	35

* Aplicado na forma de pó.

LA: Latossolo Amarelo; LV: Latossolo Vermelho-Amarelo; LE: Latossolo Vermelho-Escuro; LRg: Latossolo Roxo de gabro; LRt: Latossolo Roxo de tufito.

K, como K₂SO₄, aplicados na forma de solução. Com 20 dias aplicaram-se 20 mg kg⁻¹ N em cobertura, também na forma de solução. Os solos foram acondicionados em potes plásticos com capacidade para 500 g, sendo então procedido o plantio. O ensaio foi conduzido por 4 semanas, mantendo-se 60 % do volume total de poros (VTP) ocupados por água. As plantas foram então cortadas rente ao solo, sendo a parte aérea levada para secar em estufa e, em seguida, pesada. Com auxílio do programa estatístico SAEG-UFV, elegeu-se

TABELA 5. Fontes, quantidades aplicadas e concentrações de micronutrientes no solo

Elemento	Fonte	Quantidade/vaso* (mg)	Concentração (ppm)
B	H ₃ BO ₃	3,2	0,8
Fe	FeSO ₄ .7H ₂ O	12,0	3,0
Cu	CuSO ₄ .5H ₂ O	6,0	1,5
Mn	MnSO ₄ .H ₂ O	14,4	3,6
Zn	ZnSO ₄ .7H ₂ O	20,0	5,0
Mo	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0,6	0,15

*Capacidade de 4 kg.

TABELA 6. Necessidade de calagem para elevação da saturação por bases (V) a 60 %.

Solo	V (%)	T (cmol _c .dm ⁻³)	Necessidade de calagem (g CaCO ₃ /vaso*)
LA - NC	51	8,2	1,48
LA - C	66	6,7	0
LV - NC	30	9,1	5,46
LV - C	57	8,3	0,50
LE - NC	12	11,2	10,76
LE - C	58	7,0	1,12
LRg - NC	77	10,2	0
LRg - C	49	7,8	1,72
LRt - NC	21	15,7	12,24
LRt - C	35	10,7	5,36

* Capacidade de 4 kg.

LA: Latossolo Amarelo; LV: Latossolo Vermelho-Amarelo; LE: Latossolo Vermelho-Escuro; LRg: Latossolo Roxo de gabro; LRt: Latossolo Roxo de tufito; NC: não cultivado; C: cultivado.

para cada solo, o modelo que melhor representou a relação entre a MSPA (Matéria Seca da Parte Aérea) e as concentrações de P, obtendo-se equações de regressão pela derivação, das quais foram determinadas as concentrações de fósforo no solo que proporcionaram as produções máximas (Tabela 8). Os dados de matéria seca de milho encontram-se na Tabela 3A . Os tratamentos foram constituídos pelo histórico de uso, aplicação de P e inoculação com fungo micorrízico, como descritos a seguir, e delineados em DIC, com quatro repetições.

Histórico de Uso: Utilização de pares de solos, similares em termos taxonômicos, coletados em locais distanciados por não mais que 200 metros, e com históricos de uso contrastantes, ou seja, solo nunca cultivado (coletado sob vegetação nativa) e solo já cultivado por longos períodos, sob um sistema de produção com calagens e adubações periódicas. Pretendeu-se, com isto, dispor de conjuntos de solos com mineralogia semelhante e com disponibilidade de fósforo distinta.

Aplicação de P: Foram aplicadas duas doses de fósforo. Objetivando trabalhar dentro de uma faixa de maior resposta da planta em que não haveria inibição do desenvolvimento de micorrizas, optou-se por utilizar concentrações de P nos níveis de 5 e 50 % da dose indicada para a produção máxima, determinada com o experimento preliminar. Em razão das concentrações de P extremamente baixas nos solos em condições naturais, a aplicação de uma dose mínima teve o objetivo de propiciar a produção de um mínimo de matéria seca. Para permitir comparações, as doses aplicadas dentro de cada classe de solo foram idênticas para solos cultivados e não cultivados e baseadas na exigência dos solos não cultivados (Tabela 7).

Inoculação: Baseando-se em resultados de estudos deste departamento, as plantas foram inoculadas com o fungo micorrízico *Glomus etunicatum*. Para isto, preparou-se uma suspensão de esporos, obtida pelo método de Gerdermann & Nicolson (1963), a partir de vasos da coleção do DCS-UFLA, ajustando-se volume e concentração para aplicação de cerca de 300 esporos por vaso.

Após a calagem, adubação básica e aplicação das doses de P, estas constituindo tratamentos, os solos foram incubados por 45 dias, mantendo-se cerca de 60 % do VTP preenchidos com água, sendo, após este período, o material dos vasos revolvido e fumigado com brometo de metila. Decorrido o período necessário para ventilação do material, procedeu-se a inoculação e, logo em seguida, o plantio. A inoculação foi realizada em metade dos vasos com a aplicação de 1 ml da suspensão de esporos em orifícios feitos no solo, nos quais as sementes foram em seguida colocadas. Utilizou-se cerca de 10 sementes por vaso para a braquiária e 4 para a soja. Em ambos os casos, foram mantidas, após o desbaste, duas plantas por vaso. As sementes de soja foram previamente inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* procedente do CNPAB-EMBRAPA. Após o plantio, procedeu-se a recomposição parcial da microbiota em todas as parcelas, via inoculação com um extrato filtrado, preparado a partir do próprio solo nas condições anteriores à fumigação.

2.2. Experimentos

Foram montados dois experimentos, um utilizando braquiária (*Brachiaria decumbens*) e outro soja (*Glycine max*), variedade CAC-1, sendo empregados vasos com capacidade de 4 kg, os quais foram arranjados em casa de vegetação segundo um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (histórico de uso: não cultivado e cultivado) x 2 (doses de P: P1 e P2) x 2 (sem e com inoculação), com quatro repetições, totalizando 320 vasos.

TABELA 8. Equações de regressão para produção de matéria seca de milho em função das doses de P no solo para produção máxima e seleção das doses a serem estudadas em cada solo – Ensaio preliminar.

Solo	Equação de regressão	R ²	Dose p/ produção máxima ¹	Dose aplicada	
				maior	menor
				----- (mg.kg ⁻¹) -----	
LA – NC	$y = 0,51617 + 0,34976x^{-1/2} - 0,01064x$	0,97	270	150	15
LA – C	$y = 0,96692 + 0,20467x^{-1/2} - 0,00580x$	0,88	312	150	15
LV – NC	$y = 0,60123 + 0,02536x - 0,00004x^2$	0,99	295	150	15
LV – C	$y = 0,66461 + 0,01930x - 0,00003x^2$	0,99	282	150	15
LE – NC	$y = 0,83175 + 0,00257x$	0,82	≥ 400	200	20
LE – C	$y = 0,61625 + 0,00527x$	0,98	≥ 400	200	20
LRg – NC	$y = 0,46585 + 0,00671x - 0,00001x^2$	0,80	263	150	15
LRg – C	$y = 0,28292 + 0,00720x - 0,00001x^2$	0,98	449	150	15
LRt – NC	$y = 0,74796 + 0,18364x^{-1/2} - 0,00383x$	0,90	575	300	30
LRt – C	$y = 0,01176 + 0,00833x - 0,00001x^2$	0,87	402	300	30

¹ Obtida pela derivação da equação.

A condução do experimento envolveu manutenção do nível adequado de umidade (60% do VTP), determinado através de pesagem, corrigido diariamente. O primeiro cultivo foi conduzido de 4/11/97 a 12/01/98, perfazendo, portanto, 10 semanas. No final deste período, as plantas foram cortadas rente ao solo, sendo a parte aérea levada para secar em estufa por 72 horas a 60°C com circulação de ar forçada. Antes de serem também levadas para a estufa, as raízes foram lavadas e amostradas para avaliação da colonização micorrízica e o solo foi amostrado para análise química.

Com exceção da incubação, fumigação, inoculação com o fungo micorrízico, calagem e aplicação de P e micronutrientes, que não foram repetidas, os demais procedimentos foram semelhantes ao primeiro cultivo. De maneira a repor K e S extraídos pelo primeiro cultivo, aplicaram-se 80 mg.kg⁻¹ de K₂SO₄. No caso da braquiária, aplicou-se adicionalmente NH₄NO₃ para uma concentração no solo de 80 mg.kg⁻¹ N. O segundo cultivo teve também duração de 10 semanas, conduzido entre 4/02/98 e 14/04/98, sendo a avaliação semelhante à do primeiro cultivo.

A avaliação dos experimentos correspondeu à determinação da massa seca da parte aérea e de raízes, separadamente, avaliação da colonização micorrízica pelo método de interseção em placas reticuladas (Giovanette & Mosse, 1980), além da análise química dos solos e da matéria seca para quantificação dos macro e micronutrientes.

Foram utilizados, no trabalho, apenas os dados da parte aérea das plantas, que, segundo Nurlaeny et al. (1996), são mais sensíveis à micorrização. Os dados de matéria seca e absorção de P de raízes encontram-se no Anexo.

2.3. Análises estatísticas

Procedeu-se análise de variância dos dados de produção de matéria seca, concentração de P e P acumulado, além de correlação linear entre parâmetros da planta e o teor de P no solo, medido com o uso dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina de troca aniônica. O P acumulado na parte aérea foi calculado para cada cultivo multiplicando-se a massa seca pela concentração de P e, o P acumulado total, somando-se o P acumulado em cada cultivo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Soja

3.1.1. Matéria seca

No primeiro cultivo, além de efeitos simples dos fatores estudados, histórico (H), elevação do nível de fósforo (P) e inoculação com fungo micorrizico (I), foi constatado também o efeito de interações duplas destes sobre a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) de soja em LV, LE e LRg e de duplas e triplas em LA e LRt (Tabela 9). Em todos os solos, a MSPA máxima foi alcançada com a aplicação de P2 ao solo não cultivado (Tabelas 10 e 11), enquanto os valores mais baixos ocorreram com a aplicação de P1 em solos não inoculados naqueles com interação dupla. Nos solos com interações triplas, o valor mínimo da MSPA ocorreu sempre em solos não cultivados. No segundo cultivo, ocorreram efeitos simples e de interações duplas dos fatores para todos os solos (Tabela 9), sendo a maior produção de MSPA alcançada com a aplicação de P2 ao solo não cultivado em LA e LRt; com P2 no LE e com P2 em LV e LRg inoculados (Tabela 11).

TABELA 9. Significância do efeito dos fatores histórico (H), elevação da dose de fósforo (P) e inoculação com fungo micorrízico (I) e suas interações, em dois cultivos, sobre a matéria seca da parte aérea de soja cultivada em cinco Latossolos.

FV	Solo/cultivo										
	LA		LV		LE		LRg		LRt		
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
H	*	ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	*
P	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
I	ns	*	*	*	*	ns	*	*	*	*	*
P x H	*	*	*	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns
I x H	*	ns	*	ns	*	ns	*	*	ns	ns	ns
I x P	*	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	*	*	*
I x P x H	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns - Não significativo.

A resposta à elevação na dose de P variou muito entre os solos, sendo influenciada pelo histórico (H) e inoculação (I) e diferenciada entre o primeiro e segundo cultivos. No primeiro cultivo, esta foi maior nos solos não cultivados em LA e LRt (Figura 1) e dentro destes, na ausência da inoculação, conforme pode ser observado para o LA-NC, onde houve um aumento na MSPA de 10,71 para 32,07 g (+200%) na ausência da inoculação, e de 20,05 para 30,68 g na sua presença (+53%) (Tabela 11). A maior resposta nos solos não cultivados deve-se ao mais baixo nível de P disponível no solo, que limitou o desenvolvimento da planta. Na presença de inoculação, as respostas foram pequenas e não houve diferença com relação ao histórico no LA. No LRt, solo que apresentou a menor resposta a P, esta foi menor no NC que no C.

Devido ao aumento da capacidade de absorção de P das raízes da soja com a associação micorrízica e, conseqüentemente, maior aproveitamento do P

TABELA 10. Matéria seca da parte aérea da soja no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Matéria seca (g)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)				
NC	7,97 b B	20,61 a A	12,00 a B	16,58 b
C	12,77 a B	17,52 b A	11,69 a B	18,61 a
P1	-	-	5,48 b B	15,26 b
P2	-	-	18,22 a B	19,52 a
Latossolo Vermelho-Escuro (LE)				
NC	7,23 b B	23,32 a A	12,38 b B	18,17 a
C	12,59 a B	21,17 b A	17,60 a	16,17 b
P1	-	-	8,08 b B	11,74 b
P2	-	-	21,90 a	22,59 a
Latossolo Roxo - gabro (LRg)				
NC	6,56 a B	19,88 a A	9,69 a B	16,75 a
C	5,61 a B	15,16 b A	9,58 a B	11,19 b
P1	-	-	3,62 b B	8,55 b
P2	-	-	15,65 a B	19,39 a

Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;

- A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

presente, a inoculação reduziu a resposta à elevação de P. Para plantas cultivadas em LV, por exemplo, a MSPA aumentou de 5,48 para 18,22 g na ausência da inoculação, enquanto, na sua presença, passou de 15,26 para 19,52g (Tabela 10). O menor aumento na presença da inoculação ocorreu pelo fato da MSPA atingir

TABELA 11. Matéria seca da parte aérea da soja, primeiro cultivo, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrizico (NI e I) em dois Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Histórico	Matéria seca (g)			
	P1		P2	
	NI	I	NI	I
Latossolo Amarelo (LA)				
NC	10,71 b B y	20,05 a B x	32,07 a x	30,68 a x
C	18,26 a B x	14,81 b B y	23,50 a y	22,02 a y
Latossolo Roxo – tufito (LRt)				
NC	15,70 b B x	25,86 a B x	28,87 a x	31,41 a x
C	15,76 a B x	19,09 a B y	25,30 a x	28,70 a x

- Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;
- As letras a e b comparam o efeito da inoculação (na horizontal, dentro do mesmo nível de P e mesmo histórico);
 - As letras A e B comparam o efeito da aplicação de fósforo (na horizontal, dentro do mesmo histórico e mesmo nível de inoculação);
 - As letras x e y comparam o efeito do histórico (na vertical, dentro dos mesmos níveis de fósforo e inoculação).

15,26 g, mesmo com P1, devido ao efeito do fungo micorrizico na absorção de P. Em LV, LE e LRg, a resposta à elevação da dose de P foi semelhante, sendo maior no NC que no C e no NI que no I, conforme pode-se constatar para plantas cultivadas em LV, nas quais este fator elevou a MSPA de 7,97 para 20,61 g (+158%) no NC e de 12,77 para 17,52 g (+38%) no C (Tabela 10). A maior resposta no NC deveu-se ao baixo teor de P no solo, 5 mg.dm⁻³ (Tabela 5A). No LRg, as diferenças entre NC e C foram muito pequenas em relação aos demais solos. No segundo cultivo, a resposta em LA e LV foi maior no solo não

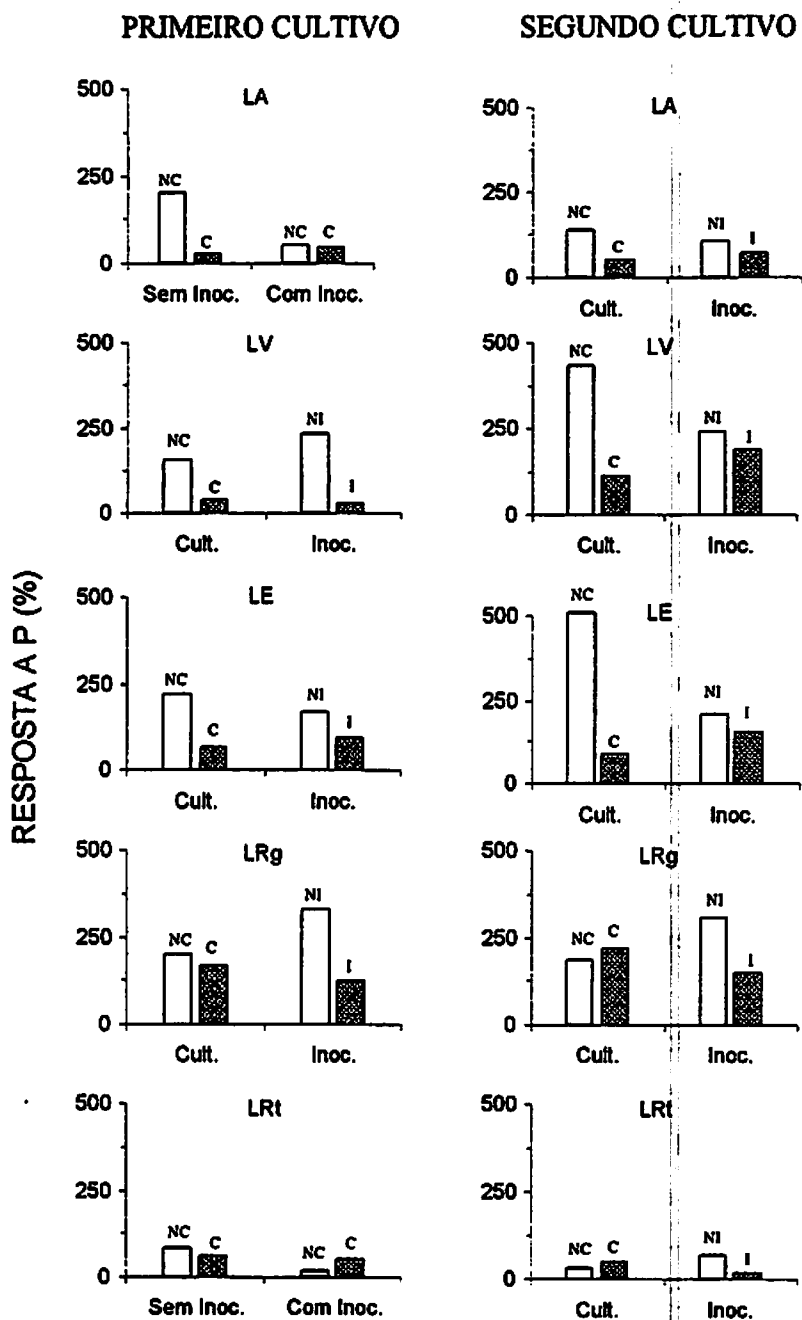


FIGURA 1. Efeito do histórico de uso e da inoculação com fungos micorrízicos na resposta da soja à aplicação de P.

cultivado que no cultivado e, para LRg e LRt, maior no cultivado que no não cultivado. Em todos os solos, as respostas foram maiores na ausência de inoculação que na sua presença, o que demonstra o efeito da micorriza na redução da demanda externa de P. Assim como no primeiro cultivo, as menores respostas à elevação da dose de P ocorreram também para o LRt. A resposta à elevação de P foi mais pronunciada no segundo cultivo, devido à pequena produção de MSPA em solos que receberam P1, o que pode ser observado para LV, LE e LRg, solos com interações duplas nos dois cultivos. No LV, a elevação da dose de P aumentou a MSPA de 7,97 para 20,61 g no NC e de 12,77 para 17,52 g no C no primeiro cultivo (Tabela 10), correspondendo a 158 e 37% de aumento, enquanto, no segundo cultivo, a MSPA passou de 2,94 para 15,73 g (+435%) no NC e de 6,83 para 14,45 g (+112%) no C (Tabela 12). A resposta a P no segundo cultivo foi maior nos solos inoculados em relação aos não inoculados, mas a diferença entre cultivos foi reduzida dos solos mais cauliniticos para os mais oxidicos como se pode observar em LV e LRg. No primeiro a resposta aumentou em mais de 500 % em relação ao segundo cultivo, enquanto, no segundo, aumentou apenas 18 %, o que significa que o LRg, devido a seu maior teor total de P, em decorrência de sua mineralogia mais oxidica, manteve mais constante a produção de MSPA entre os dois cultivos.

No primeiro cultivo, a inoculação aumentou a MSPA em todos os solos, condições de cultivo e doses de P, exceto no LE cultivado e também no LE que recebeu P2 (Tabela 10), sendo a magnitude do seu efeito variável com o solo. No LV, a inoculação elevou a MSPA de 12,00 para 16,58 g (+38%) no NC e de 11,69 para 18,61 g (+59%) no C (Tabela 10), enquanto, no LE, estes aumentos foram de 47 % no NC e não houve efeito no C. O efeito da inoculação foi maior com P1, como se verifica para plantas cultivadas em LV, no primeiro cultivo, cuja MSPA passou de 5,48 para 15,26 g (+178%) com P1, ao passo que, com

P2, passou de 18,22 para 19,52 g (+7 %) (Tabela 10). Aqui também fica evidente a interação entre o nível de P no solo e a micorrização. Com a aplicação de P1, os teores deste nutriente no solo atingem valores mais baixos, 5 e 14 mg.dm⁻³ no NC e C, respectivamente (Tabela 5A), permitindo uma colonização de 56 e 49 % (Tabela 4A) e um maior desenvolvimento vegetal. Com a elevação do P, houve uma menor colonização, 35 e 24 % no NC e C, e menor efeito sobre a MSPA. Em função das adubações fosfatadas ao longo do período anterior de cultivo, havia uma maior disponibilidade de P no solo cultivado e a resposta à aplicação atual foi menor, resultando em aumentos de 49 e 29% na presença e ausência de inoculação, respectivamente. Na presença de P1, a inoculação aumentou a MSPA de 10,71 para 20,05 g (+88%) no LA não cultivado e causou uma redução de 20% no cultivado (Tabela 11). Quando foi aplicada P2, não houve resposta à inoculação.

O efeito detrimental da inoculação sobre a MSPA em LA cultivado com P1 deve-se ao nível de P no solo (28 mg.dm⁻³) não ser tão elevado a ponto de inibir o desenvolvimento do fungo, tendo sido constatada uma colonização de 50 % (Tabela 4A), mas encontrar-se acima do nível em que o fungo teria efeito positivo sobre o desenvolvimento da soja. O fungo, nesse caso, pode ter comportado apenas como um dreno de fotossintatos, de acordo com Fitter (1991), prejudicando o desenvolvimento da planta.

Com a elevação da dose de P, os teores deste nutriente no solo atingiram 81 e 111 mg.dm⁻³ (Tabela 5A) no NC e C. Para o C, não houve colonização e, para o NC, embora tenha sido constatada uma colonização de 34 % (Tabela 4A), a resposta à inoculação não foi significativa (Figura 2). No LRt-NC (Tabela 11), não houve resposta à inoculação na presença de P2, devido ao elevado nível deste nutriente no solo, 128 mg.dm⁻³, que, no entanto, não impediu uma colonização de 47 %. Com P1, houve uma colonização de 65 % e a MSPA aumentou de 15,70 para 25,86 g (+65 %), apesar do elevado teor de P no solo,

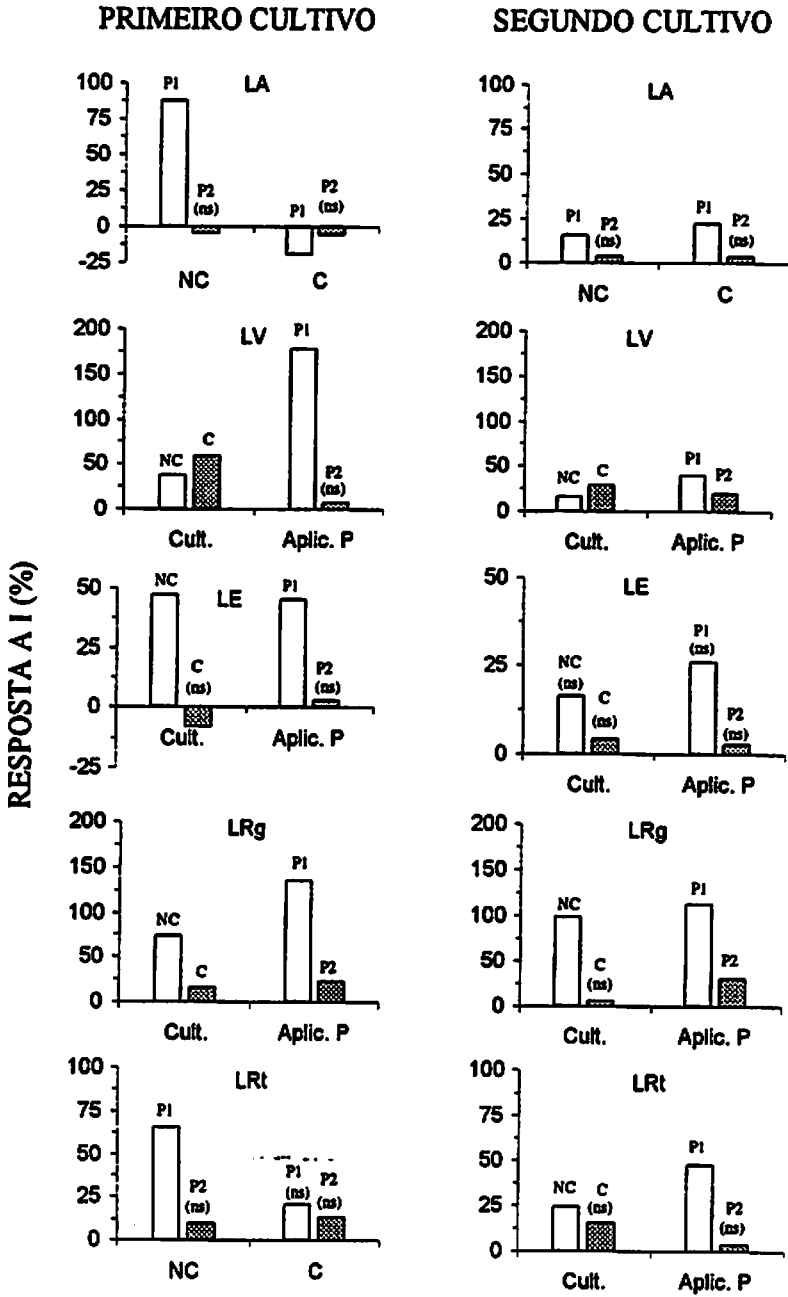


FIGURA 2. Efeito do histórico de uso e da aplicação de duas doses de P sobre a resposta de soja à inoculação com fungos micorrízicos, em termos de produção de matéria seca.

82 mg.dm⁻³ (Tabela 5A). No LRt cultivado, os níveis de P no solo, com P1 e P2, foram de 71 e 120 mg.dm⁻³ e, mesmo com 53 e 36 % de colonização, não houve resposta à inoculação (Figura 2).

Em resumo, foram identificadas quatro situações com relação ao efeito da inoculação sobre a MSPA: (1) os teores de P no solo eram baixos, ocorreu colonização nos solos inoculados e houve um efeito benéfico da inoculação sobre o desenvolvimento das plantas, citando, como exemplo, o LA não cultivado, no primeiro cultivo, que recebeu P1. O teor inicial de P no solo era de 11 mg.dm⁻³, houve colonização de 46 % e a MSPA aumentou de 10,71 para 20,05 g; (2) o nível de P no solo era suficiente para o desenvolvimento normal da planta, houve colonização mas o fungo comportou-se como um parasita, não contribuindo para a nutrição da planta hospedeira e ainda prejudicando seu desenvolvimento normal. Isto aconteceu no LA cultivado que recebeu P1 no primeiro cultivo: o nível de P era 29 mg.dm⁻³, ocorreu colonização de 50%, o que provocou uma redução da MSPA de 18,26 para 14,81 g; (3) o P no solo era alto, houve colonização mas não houve efeito da micorriza sobre o desenvolvimento das plantas. Este comportamento foi observado para o LA não cultivado que recebeu P2 no primeiro cultivo: o teor de P no solo era de 81 mg.dm⁻³ e, apesar de ter ocorrido 34% de colonização, não houve resposta das plantas à micorrização; e (4) o nível de P no solo era muito alto, não houve colonização e, portanto, qualquer resposta à inoculação. Como exemplo, cita-se o LA cultivado, no primeiro cultivo, que recebeu P2: o teor de P no solo era 111 mg.dm⁻³ e não houve colonização.

No segundo cultivo, a inoculação aumentou a MSPA da soja em LA, LRg e LRt não cultivados, mas não em cultivados. Em LE, não houve resposta à inoculação independentemente do histórico. Apesar de ter ocorrido colonização tanto em solos não cultivados quanto em cultivados, exceção feita ao LA cultivado (Tabela 4A), onde não ocorreu colonização devido aos níveis

mais elevados de P (Tabela 5A), não houve aumento da MSPA devido à micorrização. Como no primeiro cultivo, no LA não houve resposta à inoculação na presença de P2. Em LE e LRt, não houve resposta à inoculação, ao passo que em LRg esta foi semelhante ao do primeiro cultivo, ou seja, houve aumento tanto com P1 quanto com P2, sendo mais elevada, porém, com P1. No LV, primeiro cultivo, não houve também resposta na presença de P2, enquanto, no segundo cultivo, ocorreu um aumento de 19% (Figura 2). No LE, embora tenha havido resposta na presença de P1 no primeiro cultivo, o mesmo não aconteceu no segundo. Nos demais solos, a resposta à inoculação na ausência de P foi menor no segundo cultivo. A menor resposta com a dose mais baixa (Tabela 12) deve-se à redução do nível deste nutriente no solo com o primeiro cultivo, o que reduziu também o efeito da associação micorrízica. Quando se compara a produção de MSPA em LV e LRg em NC com P1 (7,97 e 6,56 g no primeiro cultivo e 2,94 e 4,91 g no segundo), observa-se que, apesar de haver pouca diferença entre eles no primeiro cultivo, a redução na MSPA no segundo cultivo (63 e 25 %) é menos acentuada para o LRg. Como os valores de P disponível (Mehlich-1) destes solos eram iguais, em torno de 5 mg.dm⁻³, conclui-se que o LRg tem maior capacidade de manutenção da produção devido ao seu maior teor total de P, em virtude de sua constituição mais oxidica. O mesmo se observa quando se compara a produção de MSPA como resposta a P1 e à inoculação: a redução no segundo cultivo é de 63 e 29 %, em LV e LRg. A comparação para solos cultivados é dificultada pela grande diferença entre os teores de P no solo.

3.1.2. Concentração de P na parte aérea

No primeiro cultivo, ocorreram apenas efeitos simples dos fatores sobre o teor de P na parte aérea no LRt, de interações duplas no LA e de triplas em

TABELA 12. Matéria seca da parte aérea da soja no segundo cultivo, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrizico (NI e I) em cinco Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Matéria seca (g)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo (LA)				
NC	8,49 b B	20,28 a	13,34 a B	15,43 a
C	11,67 a B	17,59 b	14,34 a	14,92 a
P1	-	-	9,07 b B	11,08 b
P2	-	-	18,60 a B	19,26 a
Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)				
NC	2,94 b B	15,73 a	8,60 a B	10,07 b
C	6,83 a B	14,45 b	9,28 a B	12,01 a
P1	-	-	4,07 b B	5,71 b
P2	-	-	13,81 a B	16,37 a
Latossolo Vermelho-Escuro (LE)				
NC	2,32 b B	14,12 a	7,61 b	8,83 b
C	8,40 a B	15,78 a	11,87 a	12,31 a
P1	-	-	4,74 b	5,98 b
P2	-	-	14,74 a	15,16 a
Latossolo Roxo – gabro (LRg)				
NC	4,91 a B	14,05 a	6,33 b B	12,62 a
C	4,07 a B	12,98 b	8,32 a	8,73 b
P1	-	-	2,88 b B	6,10 b
P2	-	-	11,77 a B	15,25 a
Latossolo Roxo – tufito (LRt)				
NC	16,16 a B	21,12 a	16,61 a B	20,67 a
C	12,20 b B	18,58 b	14,34 a	16,44 b
P1	-	-	11,47 b B	16,90 b
P2	-	-	19,49 a	20,21 a

TABELA 12, Cont.

Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;
 - A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

LV, LE, e LRg (Tabela 13). A maior concentração de P na parte aérea da soja ocorreu com a inoculação no LRt (Tabela 14); com a aplicação de P2 no solo cultivado no LA (Tabela 15); com a inoculação e aplicação de P1 no LV cultivado; com inoculação e aplicação de P2 em LE e LRg (Tabela 16). Os menores valores ocorreram com a aplicação de P1 ao LA; no solo não inoculado em LV e LRt e no solo não inoculado e não cultivado em LE e LRg. No segundo cultivo, ocorreram efeitos de interações duplas para LA, LE, LRg e LRt e de tripla para o LV (Tabela 13), sendo os maiores valores alcançados com inoculação e aplicação de P2 no solo cultivado no LV; com P2 no solo

TABELA 13. Significância do efeito dos fatores histórico (H), elevação da dose de fósforo (P) e inoculação com fungo micorrízico (I) e suas interações, em dois cultivos, sobre o teor de P na parte aérea de soja cultivada em cinco Latossolos.

FV	Solo/cultivo									
	LA		LV		LE		LRg		LRt	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
H	*	*	ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns
P	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ns
I	*	*	*	ns	*	ns	*	*	*	*
P x H	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns
I x H	*	ns	*	*	*	*	ns	*	ns	*
I x P	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	*
I x P x H	ns	ns	*	*	*	ns	*	ns	ns	ns

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns - Não significativo.

não cultivado em LA e LE; com P2 em LRg, e aplicação de P2 e inoculação no LRt, enquanto os menores ocorreram com a inoculação e aplicação de P1 no solo não cultivado no LV; com P1 ao NC no LA; com P1 no solo não inoculado em LRg e LRt e com P1 no LE. No primeiro cultivo, a elevação da dose de P aumentou a concentração de P na parte aérea da soja em todos os solos, exceto no LV cultivado e LRg inoculado, sendo a magnitude da resposta variável com H e I. No LA, este teor passou de 0,79 para 1,41g kg⁻¹ (+78%) no NC e de 1,06 para 3,74 g.kg⁻¹ (+253%) no C (Tabela 15), aumentos estes inversamente proporcionais aos da MSPA: 159 e 37 %, nesta mesma combinação de tratamentos, o que indica efeito de diluição.

No segundo cultivo, a resposta à elevação de P em LA foi mais acentuada em C, com a concentração de P na parte aérea passando de 0,95 para 2,28 g.kg⁻¹ (+140%) contra 0,86 para 1,25 g.kg⁻¹ (+46%), no NC (Tabela 17).

TABELA 14. Teor de P na parte aérea de soja no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em LRt previamente cultivado (C) ou não cultivado (NC).

Histórico		Teor de P (g kg ⁻¹)			
		Aplicação de P		Inoculação	
NC	C	P1	P2	NI	I
1,30 a	1,20 a	1,16 b	1,34 a	0,97 b	1,53 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; a e b comparam médias dentro de cada fator.

Aqui também se observa um efeito inversamente proporcional da elevação do nível de P no solo sobre o teor de P na parte aérea: aos aumentos 139 e 51% sobre a MSPA, em NC e C (Tabela 12), corresponderam aumentos de 46 e 140% na concentração de P na parte aérea. O mesmo foi observado para LE, onde aumentos de 32 e 19% na concentração de P na parte aérea corresponderam a aumentos de 88 e 508% na MSPA em NC e C, respectivamente. Em LE e LRt, a resposta a P ocorreu apenas na presença da inoculação.

No primeiro cultivo, a inoculação não teve efeito sobre o teor de P na parte aérea da soja em LA-NC (Tabela 15), elevando este parâmetro, porém, nas demais situações. O efeito da inoculação foi muito menor que o de P. Embora tenha ocorrido para LA e LV, nem sempre a maior concentração de P na parte aérea ocorreu com o maior teor de P no solo. Em LE e LRg, esta ocorreu com a aplicação de P2 na presença da inoculação em solos não cultivados, ao passo que o maior teor no solo ocorreu no solo cultivado. No LRt, o efeito da inoculação sobre a concentração de P da parte aérea foi maior do que o da aplicação da dose maior de P. Há, portanto, uma tendência de aumento da importância relativa das micorrizas sobre a concentração de P na parte aérea, dos solos mais cauliniticos para os mais oxidicos. O fato da inoculação ter influenciado o teor de P na parte aérea em LRt (Tabela 14), mas não a MSPA (Tabela 11), sugere consumo de luxo.

No segundo cultivo, em alguns casos, também, ao estimular o aumento da matéria seca, a inoculação afetou negativamente a concentração de P na parte aérea, o que aconteceu para o LV não cultivado que recebeu P2 (Tabelas 12 e 18). Comparando-se os valores de P na parte aérea da soja em LA e LRt nos dois cultivos, observa-se uma menor influência da inoculação na resposta a P no segundo cultivo.

TABELA 15. Teor de P na parte aérea de soja no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em LA previamente cultivado (C) ou não cultivado (NC).

Tratamentos	Concentração de P (g kg ⁻¹)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
NC	0,79 b B	1,41 b	1,05 b	1,15 b
C	1,06 a B	3,74 a	2,14 a B	2,66 a
P1	-	-	0,83 b B	1,02 b
P2	-	-	2,37 a B	2,79 a

Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade:

- A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

3.1.3. Acúmulo de P na parte aérea

Em LA, LV e LRt, solos com apenas interações duplas entre os fatores (Tabela 19), os maiores valores de P acumulado ocorreram com a aplicação de P2 no LA cultivado (96,34 mg) e com P2 na presença da inoculação em LV e LRt (36,06 e 78,01 mg), enquanto os menores ocorreram com a aplicação de P1 no solo não cultivado no LA (18,81 mg) e com P1 na ausência da inoculação em LV e LRt (6,99 e 26,35 mg) (Tabela 20). Em LE e LRg, solos com interações triplas (Tabela 19), os menores valores de P acumulado ocorreram em solos não cultivados com P1 e inoculação, enquanto os maiores ocorreram com P2 e inoculação. A resposta em LA, LV e LRt foi mais alta nos solos não cultivados e na ausência de inoculação (Tabela 20), o que se deve, de maneira semelhante à observada para a MSPA, ao nível mais baixo de P no solo. No LRt, a maior

TABELA 16. Teor de P na parte aérea de soja no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Histórico	Concentração de P (g kg ⁻¹)			
	P1		P2	
	NI	I	NI	I
Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)				
NC	0,72 a B x	0,72 a B y	0,94 a x	0,99 a A x
C	0,68 b x	1,10 a x	0,78 b y	0,98 a B x
Latossolo Vermelho-Escuro (LE)				
NC	0,64 b B y	0,78 a B y	0,91 b y	1,54 a A x
C	0,79 b B x	0,96 a B x	1,36 a x	1,40 a A y
Latossolo Roxo – gabro (LRg)				
NC	0,68 b B y	0,97 a B y	0,92 b x	1,33 a A x
C	0,77 b B x	1,14 a x	0,88 b x	1,12 a A y

- Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;
- As letras a e b comparam o efeito da inoculação (na horizontal, dentro do mesmo nível de P e mesmo histórico);
 - As letras A e B comparam o efeito da aplicação de fósforo (na horizontal, dentro do mesmo histórico e mesmo nível de inoculação);
 - As letras x e y comparam o efeito do histórico (na vertical, dentro dos mesmos níveis de fósforo e inoculação).

resposta a P ocorreu no solo cultivado (Figura 3), no qual o nível de P era mais baixo que no não cultivado. Em LA, não houve efeito da inoculação quando foi aplicado P2 (Tabela 20). No solo C, o teor de P, de cerca de 111 mg.dm⁻³ (Tabela 5A), inibiu o desenvolvimento das micorrizas (Tabela 4A), enquanto, no não cultivado, com teor de P de 81 mg.dm⁻³, houve colonização, porém o efeito da micorriza sobre o P acumulado não foi significativo. Com P1, a inoculação elevou o P acumulado de 19,61 para 24,17 mg (+23 %). No LRt e LV, o efeito da inoculação foi mais elevado com a aplicação de P1, com o

TABELA 17. Teor de P na parte aérea de soja no segundo cultivo, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em quatro Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Concentração de P (g kg ⁻¹)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo (LA)				
NC	0,86 b B	1,25 b	1,03 b	1,08 b
C	0,95 a B	2,28 a	1,58 a	1,65 a
P1	-	-	0,86 b	0,94 b
P2	-	-	1,74 a	1,79 a
Latossolo Vermelho-Escuro (LE)				
NC	0,87 a B	1,03 b	1,03 a	0,88 b
C	0,95 a B	1,25 a	1,01 a B	1,19 a
P1	-	-	0,95 a	0,87 b
P2	-	-	1,09 a	1,20 a
Latossolo Roxo – gabro (LRg)				
NC	0,74 a B	0,97 a	0,77 a B	0,94 a
C	0,74 a B	0,90 a	0,80 a	0,84 b
P1	-	-	0,68 b B	0,80 b
P2	-	-	0,89 a B	0,98 a
Latossolo Roxo – tufito (LRt)				
NC	1,17 a	1,24 a	1,03 b B	1,38 a
C	1,21 a	1,34 a	1,25 a	1,30 a
P1	-	-	1,15 a	1,22 b
P2	-	-	1,13 a B	1,46 a

Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;

- A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

TABELA 18. Teor de P na parte aérea de soja no segundo cultivo, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrizico (NI e I) em LV previamente cultivado (C) ou não cultivado (NC).

Histórico	Concentração de P (g kg ⁻¹)			
	P1		P2	
	NI	I	NI	I
NC	0,90 a x	0,64 b B y	0,81 a x	0,91 a y
C	0,74 b B y	0,85 a B x	0,89 b x	1,10 a x

- Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;
- As letras a e b comparam o efeito da inoculação (na horizontal, dentro do mesmo nível de P e mesmo histórico);
 - As letras A e B comparam o efeito da aplicação de fósforo (na horizontal, dentro do mesmo histórico e mesmo nível de inoculação);
 - As letras x e y comparam o efeito do histórico (na vertical, dentro dos mesmos níveis de fósforo e inoculação).

TABELA 19. Significância do efeito dos fatores histórico (H), elevação da dose de fósforo (P) e inoculação com fungo micorrizico (I) e suas interações sobre o P acumulado na parte aérea de soja.

FV	Solo				
	LA	LV	LE	LRg	LRt
H	*	*	*	*	*
P	*	*	*	*	*
I	ns	*	*	*	*
P x H	*	*	*	*	*
I x H	*	*	*	*	*
I x P	ns	*	ns	*	ns
I x P x H	ns	ns	*	*	ns

- * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.
 ns - Não significativo.

TABELA 20. P acumulado na parte aérea de soja nos dois cultivos, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	P acumulado (mg)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo (LA)				
NC	18,81 b B	76,93 b	44,20 b B	51,54 b
C	24,97 a B	96,34 a	62,27 a	59,04 a
P1	-	-	19,61 b B	24,17 b
P2	-	-	86,86 a	86,41 a
Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)				
NC	7,87 b B	33,49 a	17,93 a B	23,43 b
C	18,00 a B	30,14 b	16,62 a B	31,52 a
P1	-	-	6,99 b B	18,88 b
P2	-	-	27,57 a B	36,06 a
Latossolo Roxo – tufito (LRt)				
NC	46,38 a B	67,37 a	39,16 a B	74,58 a
C	33,42 b B	61,24 b	37,78 a B	56,88 b
P1	-	-	26,35 b B	53,45 b
P2	-	-	50,60 a B	78,01 a

Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;
 - A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

TABELA 21. P acumulado na parte aérea de soja nos dois cultivos, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrizico (NI e I) em dois Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Histórico	P acumulado (mg)			
	P1		P2	
	NI	I	NI	I
Latossolo Vermelho-Escuro (LE)				
NC	4,18 b B y	10,81 a B y	32,89 b y	54,02 a x
C	16,70 a B x	21,02 a B x	48,92 a x	48,83 a y
Latossolo Roxo - gabro (LRg)				
NC	3,56 b B x	16,02 a B x	24,42 b x	49,82 a x
C	5,70 b B x	11,65 a B y	24,66 b x	29,11 a y

- Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;
- As letras a e b comparam o efeito da inoculação (na horizontal, dentro do mesmo nível de P e mesmo histórico);
 - As letras A e B comparam o efeito da aplicação de fósforo (na horizontal, dentro do mesmo histórico e mesmo nível de inoculação);
 - As letras x e y comparam o efeito do histórico (na vertical, dentro dos mesmos níveis de fósforo e inoculação).

P acumulado passando, no LV, de 6,99 para 18,88 mg (+170%) e de 27,57 para 36,06 mg (+30%) com P2. No LRt, estes aumentos foram de 103 e 54%, respectivamente, com P1 e P2 (Figura 3). O efeito da I no LRg (Tabela 21) foi maior no NC e, dentro deste e dentro do C, maior com P1 do que com P2. No LE-C, não houve efeito e, no NC, o efeito foi maior com P1. Da mesma forma que para a MSPA, observa-se, portanto, um efeito complementar entre a dose de P e a inoculação. A influência de um sobre o P acumulado é sempre menor na presença do outro.

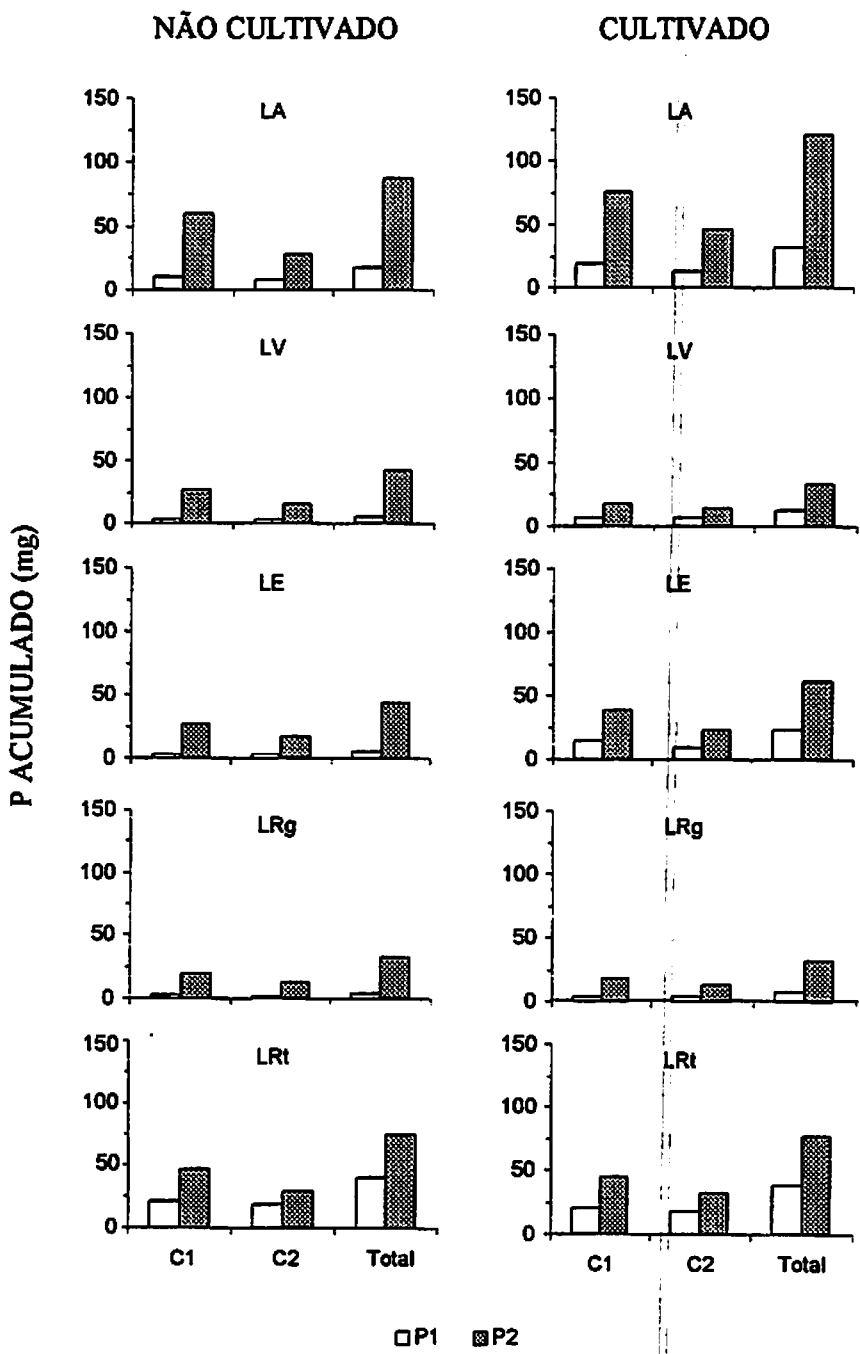


FIGURA 3. P acumulado em soja, no primeiro (C1), segundo (C2) cultivo e total, em cinco Latossolos previamente cultivados ou não.

3.1.4. Relações entre MSPA e absorção de P com os teores de P no solo

A MSPA da soja com e sem inoculação correlacionou-se positivamente e em diferentes graus com o teor de P no solo, nos diferentes solos e cultivos (Tabela 22). No primeiro cultivo, para os extratores Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e Resina de troca iônica (R), a interseção da reta com o eixo das ordenadas ocorre com valores mais elevados na presença da inoculação, como se pode observar na Figura 4: 13,44 e 7,50 para M-1; 13,40 e 6,66 para M-3; e 11,00 e 5,08 para R, respectivamente na presença e ausência de inoculação, o que significa que a baixas concentrações de P no solo ocorre maior produção de MSPA pelas plantas micorrizadas. A inclinação da reta também é menor para plantas inoculadas, indicando menor dependência destas ao aumento da disponibilidade de P no solo. O coeficiente de correlação linear foi mais alto para plantas não inoculadas, o que pode ser explicado pela maior dispersão de pontos causada pela micorrização, devido à variação do seu efeito em cada solo. Entre os extratores, o que apresentou coeficientes de correlação mais altos com MSPA, concentração de P e P acumulado na parte aérea da soja, foi o M-3. Da mesma forma, pode ser observado o efeito da inoculação sobre a concentração de P (Figura 5) e P acumulado na MSPA aérea nos dois cultivos (Figura 6). Os valores da interseção das retas indicam que, quando o nível de P no solo é baixo, a planta inoculada apresenta, em relação à não inoculada, maior concentração de P e maior quantidade de P acumulado na parte aérea, o que se deve à absorção adicional de P proporcionada pela associação micorrízica. Um substancial efeito sobre o P acumulado total é indicado pela diferença entre os valores da interseção das retas para plantas micorrizadas em relação às não micorrizadas, ou seja, 15,88 e 6,46 com M-1; 11,98 e 0,49 com M-3; e 9,76 e 5,88 com R. Tanto para a concentração de P quanto para o P acumulado, o coeficiente de correlação foi maior para solos inoculados.

TABELA 22. Coeficientes de correlação entre P no solo, obtido por três extratores, e matéria seca, teor de P e P acumulado na parte aérea da soja, por cultivo, em solos inoculados (I) ou não (NI) com fungo micorrizico.

Parâmetros da planta	P no solo					
	Mehlich-1		Mehlich-3		Resina	
	NI	I	NI	I	NI	I
Primeiro cultivo						
MS	0,81**	0,72**	0,86**	0,69**	0,78**	0,76**
Teor de P	0,62**	0,76**	0,90**	0,87**	0,44 ^{ns}	0,71**
P acumulado	0,77**	0,81**	0,96**	0,88**	0,57**	0,76**
Segundo cultivo						
MS	0,78**	0,72**	0,89**	0,83**	0,74**	0,76**
Teor de P	0,54*	0,75**	0,67**	0,85**	0,37 ^{ns}	0,56*
P acumulado	0,74**	0,81**	0,88**	0,93**	0,59**	0,69**

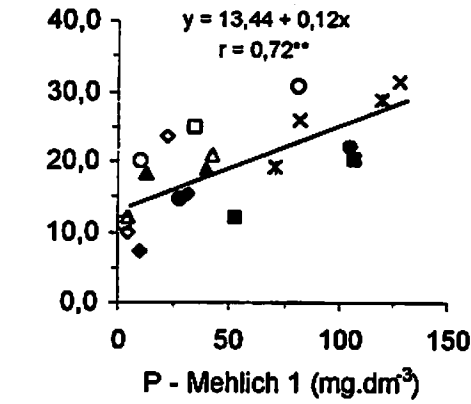
*, ** - Significativo a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente.

3.2. Braquiária

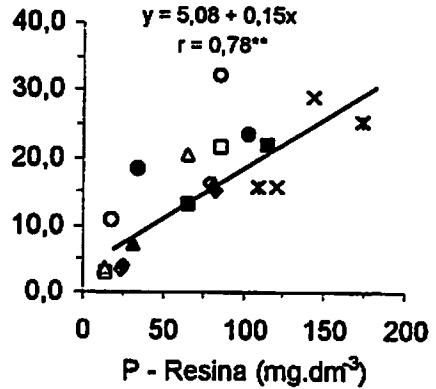
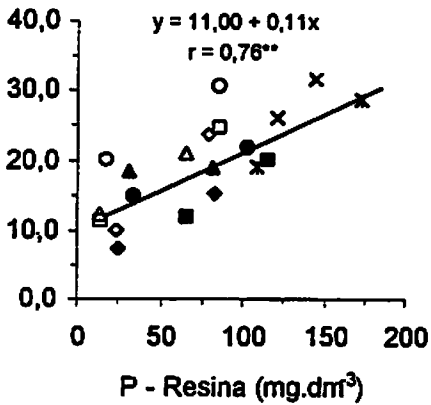
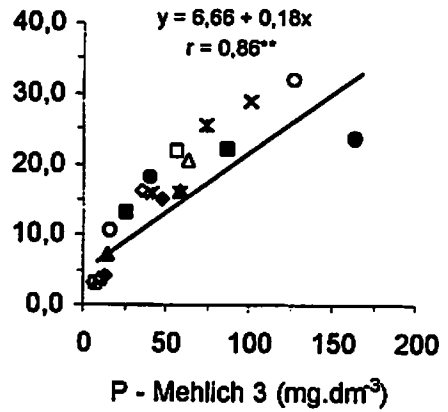
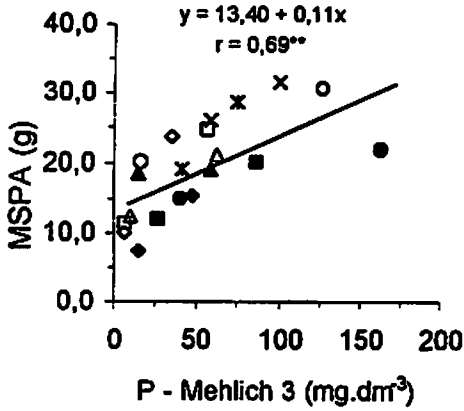
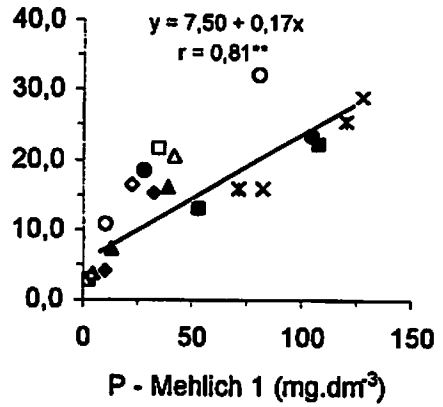
3.2.1. Matéria seca

No primeiro cultivo, houve, para todos os solos, apenas efeitos simples e de interações duplas entre os fatores (Tabela 23). A produção máxima de MSPA ocorreu com a aplicação de P2 em LA e LV não cultivados; com P2 em LE e LRt inoculados; e apenas com P2 em LRg (Tabela 24). A mínima ocorreu com P1 em LA e LRt, independentemente de H, e com P1 nos demais solos não cultivados. No segundo cultivo, ocorreram, também, para todos os solos, apenas efeitos simples e de interações duplas dos fatores, sendo a MSPA máxima alcançada com a aplicação de P2 em LA, LV e LRt, tanto cultivados quanto não cultivados, e em LE cultivado. A mínima ocorreu com P1 em LA e LE não cultivados e com P1 em LV e LRt não inoculados (Tabela 25).

COM INOCULAÇÃO

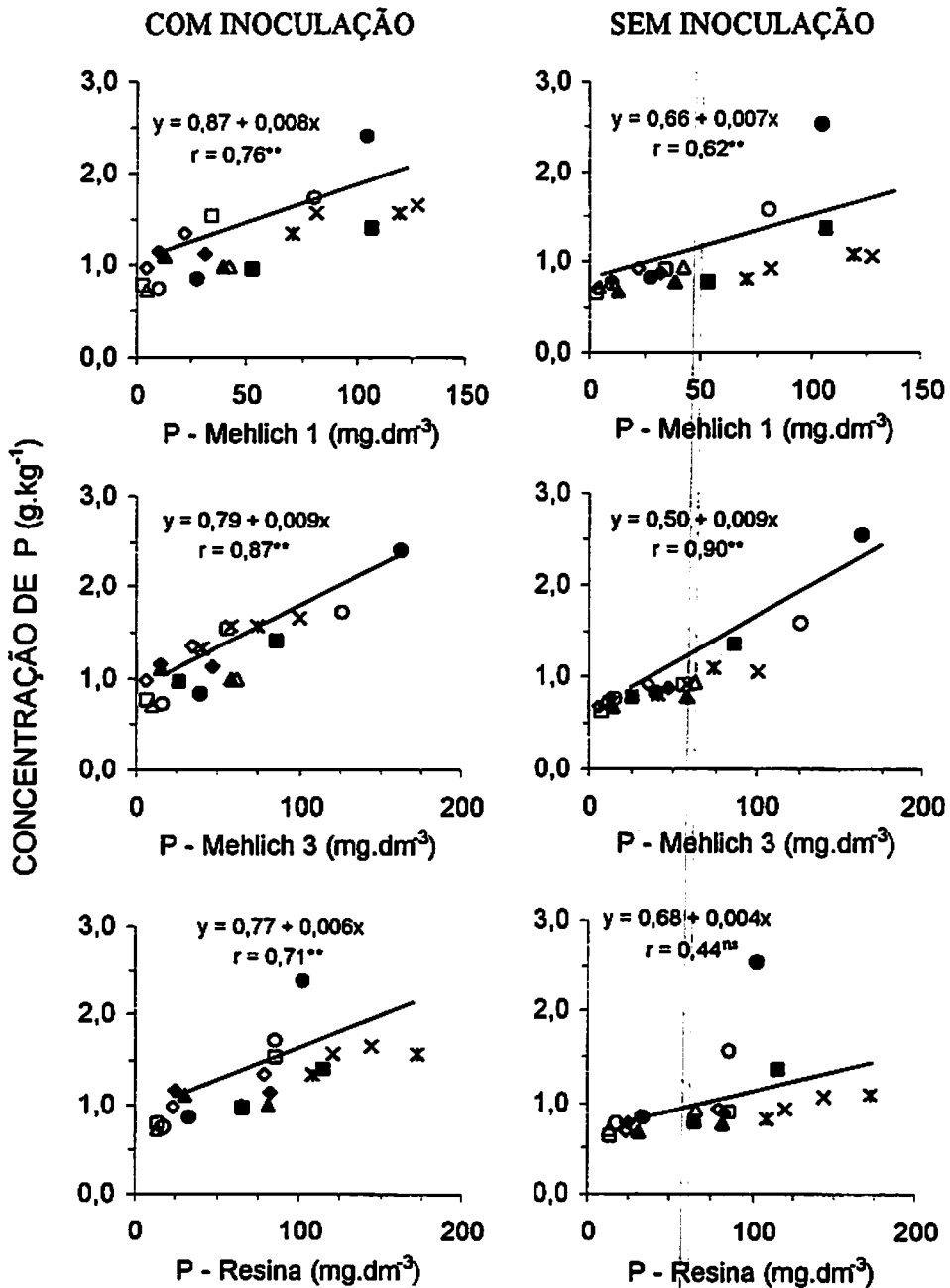


SEM INOCULAÇÃO



OLA - NC ●LA - C ΔLV - NC ▲LV - C □LE - NC ■LE - C ◇LRg - NC ◆LRg - C ✕LRt - NC ✕LRt - C

FIGURA 4. Correlação entre o P no solo, obtido por três extratores, e a matéria seca da parte aérea da soja (MPSA), no primeiro cultivo.



OLA - NC ● LA - C ▲ LV - NC ▲ LV - C □ LE - NC ■ LE - C ◊ LRg - NC ◆ LRg - C ✕ LRI - NC ✕ LRI - C

FIGURA 5. Correlação entre o P no solo, obtido por três extratores, e a concentração de P na parte aérea da soja, no primeiro cultivo.

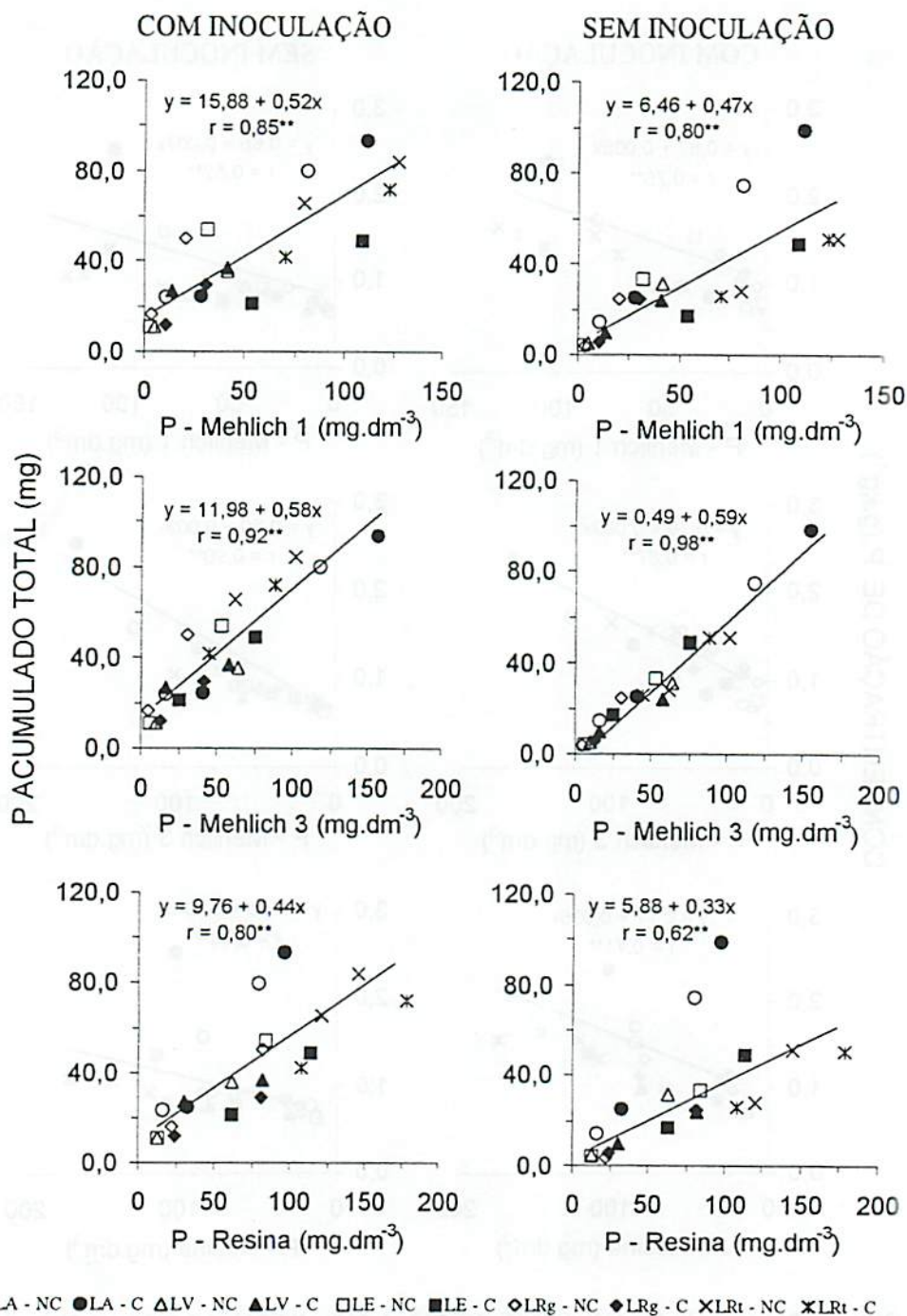


FIGURA 6. Correlação entre P no solo, obtido por três extratores, e P acumulado na matéria seca da parte aérea de soja nos dois cultivos.

TABELA 23. Significância do efeito dos fatores histórico (H), elevação da dose de fósforo (P), inoculação com fungo micorrizico (I) e suas interações, em dois cultivos (1 e 2) sobre a matéria seca da parte aérea de braquiária, cultivada em cinco Latossolos.

FV	Solo/cultivo									
	LA		LV		LE		LRg		LRt	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
H	*	*	*	ns	*	*	*	-	ns	ns
P	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*
I	*	*	ns	*	*	ns	*	-	ns	*
P x H	*	*	*	ns	*	*	*	-	ns	ns
I x H	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	-	ns	ns
I x P	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	-	ns	ns
I x P x H	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns - Não significativo.

Os dados do LRg, referentes ao segundo cultivo, não foram apresentados devido à contaminação pelo fungo micorrizico constatada nas parcelas não inoculadas que receberam P1.

A resposta à elevação da dose de P variou muito entre solos, sendo influenciada pelo histórico e inoculação e diferenciada entre cultivos (Figura 7). No primeiro cultivo, para todos os solos a resposta a P foi maior no NC que no C, devido ao teor mais baixo de P nestes, e menor no NI que no I, exceto para LE, onde não houve diferença entre o solo inoculado e o não inoculado, e para LRg, onde foi maior no NI. Apenas para o LA cultivado, não houve resposta à elevação da dose de P, o que pode ser atribuído à suficiência deste nutriente para o máximo desenvolvimento da planta. Em LE, a MSPA aumentou de 10,83 para 41,07 g (+280 %) no NC (Tabela 24), onde o teor inicial de P era de 3 mg.dm⁻³, e de 29,36 para 36,34 g (+23 %) no C, onde o P inicial era de 54 mg.dm⁻³

TABELA 24. Matéria seca da parte aérea da braquiária no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em cinco Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Matéria seca (g)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo (LA)				
NC	36,43 a B	49,64 a	40,65 a B	45,42 a
C	34,97 a	37,38 b	35,27 b A	37,08 b
P1	-	-	34,78 b A	36,62 b
P2	-	-	41,14 a B	45,88 a
Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)				
NC	23,28 b B	44,00 a	34,11 a A	33,17 b
C	32,32 a B	40,27 b	34,62 a B	37,96 a
P1	-	-	28,07 b A	27,5 3 b
P2	-	-	40,66 a A	43,61 a
Latossolo Vermelho-Escuro (LE)				
NC	10,83 b B	41,07 a	24,10 b B	27,81 b
C	29,36 a B	36,34 b	31,10 a B	34,59 a
P1	-	-	18,91 b A	21,28 b
P2	-	-	36,29 a B	41,13 a
Latossolo Roxo – gabro (LRg)				
NC	11,44 b B	35,03 a	19,47 b B	27,00 a
C	20,65 a B	35,89 a	27,90 a A	28,63 a
P1	-	-	13,00 b B	19,09 b
P2	-	-	34,38 a A	36,53 a
Latossolo Roxo – tufito (LRt)				
NC	42,90 a B	51,66 a	46,46 a A	48,09 a
C	42,86 a B	48,23 a	43,89 a A	47,20 a
P1	-	-	42,52 b A	43,23 b
P2	-	-	47,82 a B	52,06 a

...continua...

TABELA 24, Cont.

- Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5 % de probabilidade;
- A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

(Tabela 5A). Para o LRg, onde os teores de P em NC e C eram inicialmente de 4 e 11 mg.dm⁻³, o aumento da MSPA em função da elevação da dose de P foi de 206 e 74 %. A resposta à elevação da dose de P foi maior com I em LA, LV e LRt, enquanto, em LE, não houve diferença e, em LRg, foi maior no NI. No segundo cultivo, a resposta à elevação da dose de P em LA, LV e LE foi semelhante à do primeiro cultivo, em termos de tendência, sendo também maior no NC que no C. Merece destaque a grande resposta do LE, cerca de 570 % para NC (Tabela 25). De maneira diferente do primeiro cultivo, a resposta foi maior no NI que no I, exceto para LRt, onde não houve resposta na presença da inoculação. A resposta no LRt foi baixa na ausência da inoculação e não significativa em NC, C e I, apesar da esperada redução do P disponível em função da grande produção de MSPA no primeiro cultivo. Exceto para LRt, as respostas foram maiores no segundo cultivo. Em LE, o aumento da MSPA no NC, que foi de 279 % no primeiro cultivo, passou para 570 % no segundo. No LA, passou de 36 para 186 % e, no LV, de 89 para 139 %.

A resposta da braquiária à inoculação, em termos de produção de MSPA, variou com o histórico e a dose de P e foi menor que a da soja (Figura 8). No primeiro cultivo, houve efeito da inoculação no LA para o solo não cultivado e também para as parcelas que receberam a maior dose de P; no LV, apenas para o solo cultivado; no LE só não houve efeito para as parcelas que receberam P1; no LRg houve efeito para o NC e para parcelas que receberam P1 e, no LRt, apenas com P2 (Tabela 24). No segundo cultivo, o efeito da

TABELA 25. Matéria seca da parte aérea da braquiária no segundo cultivo, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrizico (NI e I) em quatro Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Matéria seca (g)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo				
NC	8,94 b B	25,53 a	15,21 b B	19,27 b
C	19,63 a B	25,00 a	21,54 a	23,09 a
P1	-	-	12,01 b B	16,56 b
P2	-	-	24,74 a	25,80 a
Latossolo Vermelho-Amarelo				
NC	10,86 b B	25,93 a	15,93 a B	20,86 a
C	14,51 a B	26,40 a	18,52 a B	22,39 a
P1	-	-	8,91 b B	16,47 b
P2	-	-	25,55 a	26,78 a
Latossolo Vermelho-Escuro				
NC	3,41 b B	22,88 b	14,11 b	12,18 b
C	18,57 a B	28,71 a	22,14 a B	25,14 a
P1	-	-	9,16 b B	12,82 b
P2	-	-	27,08 a	24,50 a
Latossolo Roxo - tufito				
NC	28,53 a	30,98 a	28,45 a	31,06 a
C	26,75 a	30,14 a	26,83 a	30,06 a
P1	-	-	25,49 b B	29,79 a
P2	-	-	29,79 a	31,34 a

Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5 % de probabilidade;

- A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

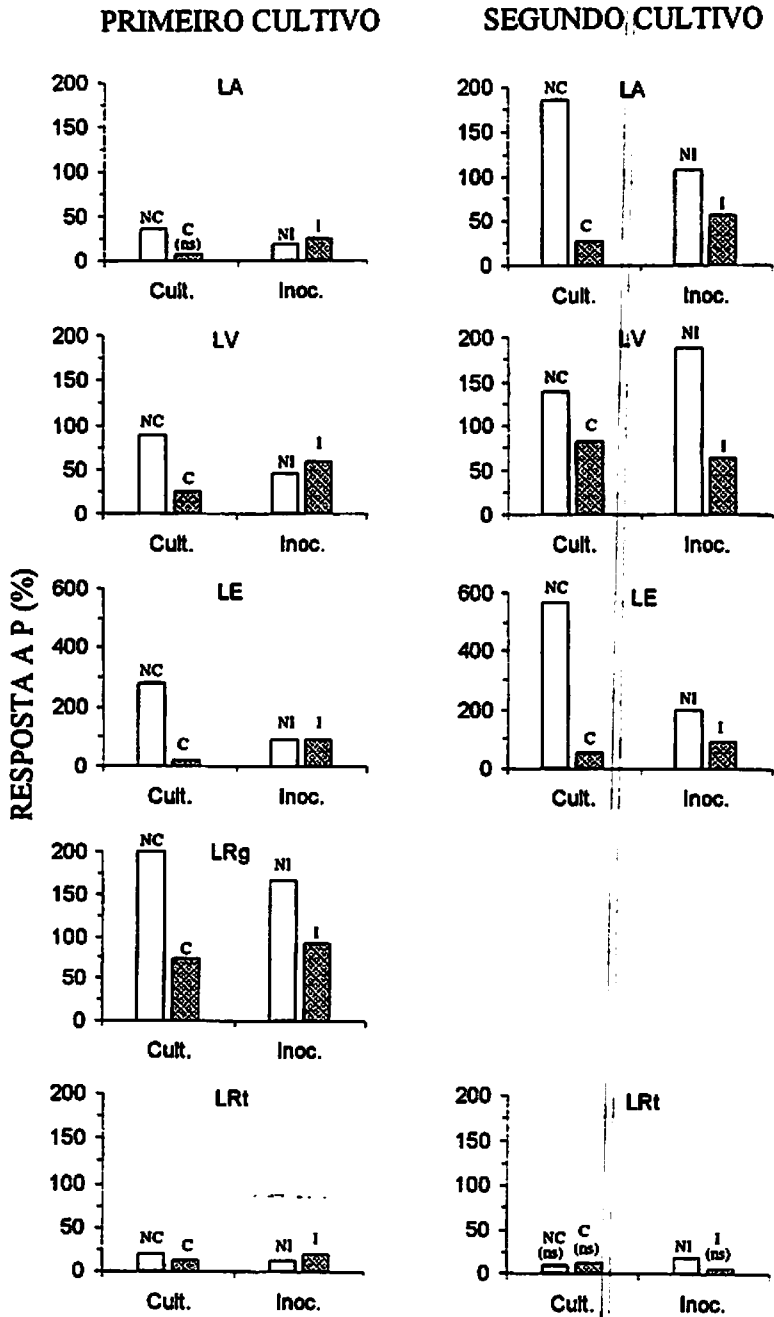


FIGURA 7. Efeito do histórico do solo e da inoculação com fungos micorrízicos sobre a resposta da braquiária à aplicação de P.

inoculação foi mais alto em todos os solos, principalmente com a aplicação da dose mais baixa de P. Para LA com P1, onde não houve efeito no primeiro cultivo, no segundo a I aumentou a MSPA de 12,01 para 16,56 g (+38 %) (Tabela 25). Em LA-NC, os teores de P no solo antes do segundo cultivo eram de 5 e 53 mg.dm⁻³ (Tabela 6A), com P1 e P2, ocorrendo 30 e 4 % de colonização (Tabela 4A), respectivamente, enquanto, no C, os teores de P eram de 19 e 76 mg.dm⁻³, com P1 e P2, e não ocorreu colonização. No LV, não houve efeito da I na presença de P2, embora tenha havido uma colonização de 7 % no solo cultivado. No LE, não houve efeito da I no NC e houve um pequeno efeito no C. Nos solos cultivados, embora com P2 e P1 os teores de P atingissem valores relativamente próximos, 79 e 50 mg.dm⁻³, a colonização foi inibida apenas nos primeiros, de maneira semelhante ao primeiro cultivo, ocorrendo colonização de 41 % nos últimos. O efeito de I foi maior com P1, portanto, havendo redução na MSPA com P2. No LRt, só houve efeito da inoculação quando foi aplicada P1. Como comentado para a soja, os níveis mais altos de P tendem a reduzir ou inibir o efeito da inoculação, mesmo ocorrendo colonização. Como aconteceu para o LE, além da associação micorrízica não contribuir para o desenvolvimento vegetal na presença de altas concentrações de P no solo, esta pode inclusive ter efeito detrimental, por constituir um dreno de fotossintatos da planta.

3.2.2. Concentração de P na parte aérea

No primeiro cultivo, ocorreram efeitos simples e de interações duplas dos fatores sobre a concentração de P na parte aérea da braquiária em LA, LV, LRg e LRt (Tabela 26). O valor máximo desta ocorreu com a dose P2 em LV, LRt, LA e LE e no LRt não inoculado, enquanto os valores mínimos ocorreram com P1 em LV e LRt; com P1 em LE e LA não cultivados; e com P1 no LRg cultivado

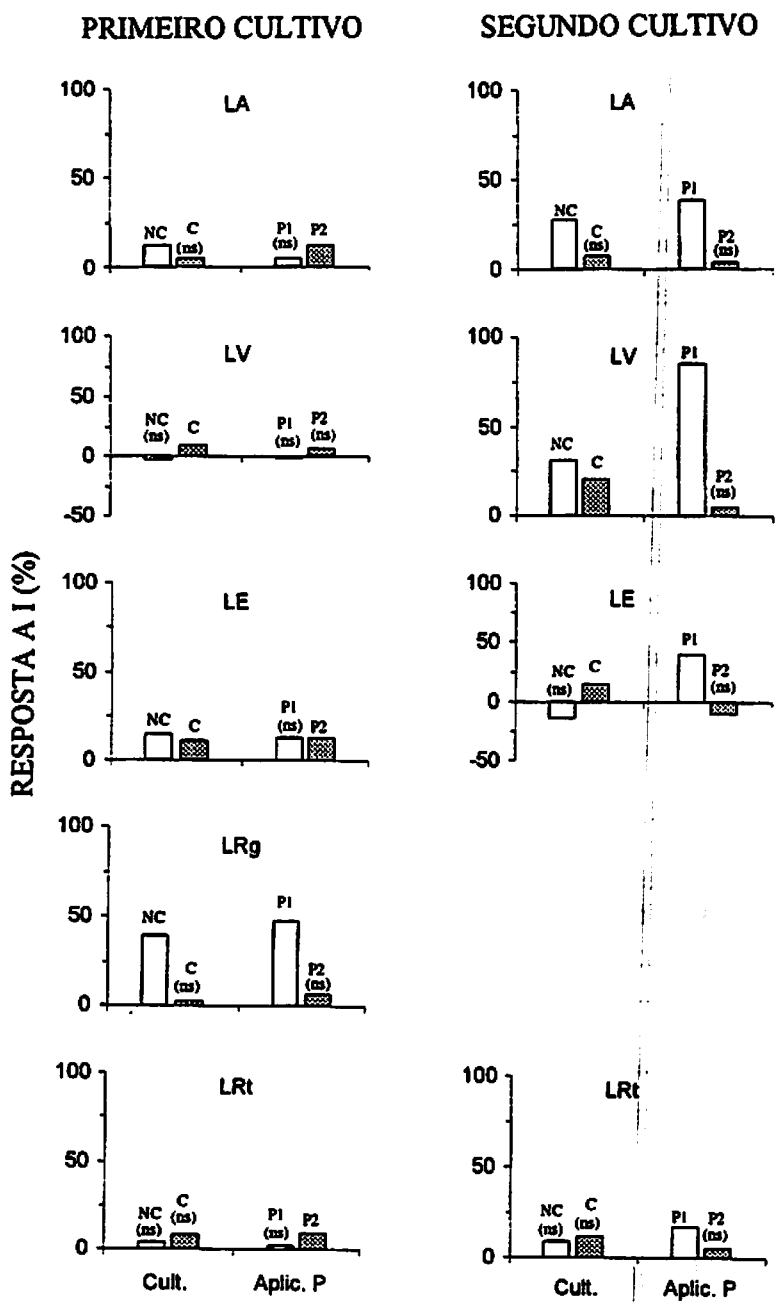


FIGURA 8. Efeito do histórico de uso e da aplicação de duas doses de P sobre a resposta de braquiária à inoculação com fungos micorrízicos, em termos de produção de matéria seca.

(Tabelas 27 e 28). No segundo cultivo, ocorreram apenas efeitos individuais dos fatores em LV e LRt, enquanto, em LA e LE, ocorreram também interações duplas (Tabela 26). Os dados referentes ao LRg não foram aqui discutidos devido às razões citadas anteriormente. Os maiores teores de P na parte aérea ocorreram com P2 em LV e LRt; com P no LA cultivado; e com P1 no LE cultivado. Os menores ocorreram com P1 em LV e LRt; com P1 no LA não cultivado; e com P1 no LE cultivado.

No primeiro cultivo, a elevação da dose de P aumentou o teor de P na parte aérea da braquiária em todos os solos, sendo influenciada pelo histórico e inoculação. Em LA e LE, a resposta da braquiária foi maior no NC que no C, não havendo diferenças entre plantas NI e I. No LRg, só houve resposta no C, enquanto em LV e LRt, onde ocorreram apenas efeitos simples dos fatores, esta foi pequena. No segundo cultivo, ocorreu uma redução das respostas, citando-se,

TABELA 26. Significância do efeito dos fatores histórico (H), elevação da dose de fósforo (P), inoculação com fungo micorrízico (I) e suas interações, em dois cultivos (1 e 2) sobre o teor de P na matéria seca da parte aérea de braquiária cultivada em cinco Latossolos.

FV	Solo/cultivo									
	LA		LV		LE		LRg		LRt	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
H	*	*	*	ns	*	*	*	-	ns	*
P	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*
I	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	-	ns	ns
P x H	ns	*	*	ns	ns	*	ns	-	ns	ns
I x H	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	*	ns
I x P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	-	ns	ns
I x P x H	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	*	ns

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns - Não significativo.

como exemplo, o LA, em que ocorreram interações duplas em ambos os cultivos. No primeiro cultivo, os aumentos devidos à elevação de P nos solos C e NC, que foram de 64 e 108 %, passaram a 58 e 53 %. Os aumentos de 80 e 87 %, constatados para plantas I e NI no primeiro cultivo, reduziram-se para 59 e 54 % no segundo, o mesmo ocorrendo em LV e LRt. De forma diferente dos demais solos, no LE ocorreu redução da concentração de P na parte aérea em NC, que passou de 1,58 para 0,99 g.kg⁻¹ (-60 %), o que está de acordo com o grande aumento da MSPA observado, da ordem de 570 %.

No primeiro cultivo, não houve efeito da I para LV, apesar de ter ocorrido colonização de 19 e 37 % com a aplicação de P1 no C e NC. No LE-C,

TABELA 27. Teor de P na parte aérea da braquiária no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de duas doses de P (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em dois Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Concentração de P (g.kg ⁻¹)	
	LV	LRt
NC	0,90 a	1,40 a
C	0,86 a	1,00 b
P1	0,70 b	1,01 b
P2	1,05 a	1,39 a
NI	0,91 a	1,31 a
I	0,84 a	1,09 b

Obs: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5 % de probabilidade;
a e b comparam médias adjacentes na vertical.

TABELA 28. Teor de P na parte aérea da braquiária no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Concentração de P (g.kg ⁻¹)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo (LA)				
NC	0,75 b B	1,56 a	1,18 a	1,12 a
C	0,93 a B	1,52 a	1,28 a	1,18 a
P1	-	-	0,86 b	0,82 b
P2	-	-	1,60 a	1,48 a
Latossolo Vermelho-Escuro (LE)				
NC	0,79 a B	1,55 a	1,22 a	1,12 a
C	0,86 a B	1,52 a	1,29 a	1,09 a
P1	-	-	0,87 b	0,78 b
P2	-	-	1,64 a	1,43 a
Latossolo Roxo – gabro (LRg)				
NC	0,97 a	0,92 a	0,88 a	1,01 a
C	0,50 b B	0,84 a	0,67 b	0,67 b
P1	-	-	0,70 a	0,77 a
P2	-	-	0,85 a	0,91 a

Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5 % de probabilidade;
 - A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

a I aumentou em 11 % a MSPA com P1 (Tabela 24) e, por efeito de diluição, houve uma redução no teor de P na parte aérea de 1,29 para 1,09 g.kg⁻¹ (Tabela 28). Neste caso, o teor de P no solo era de 55 mg.dm⁻³ (Tabela 5A) e ocorreu uma colonização de 8 % (Tabela 4A). Com P2, o teor de P no solo atingiu 111 mg.dm⁻³, houve inibição do fungo micorrízico, não havendo, portanto,

TABELA 29. Teor de P na parte aérea da braquiária no segundo cultivo, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrizico (NI e I) em dois Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Concentração de P (g.kg ⁻¹)	
	LV	LRt
NC	1,06 a	1,22 a
C	1,02 a	1,05 b
P1	0,95 b	1,05 b
P2	1,14 a	1,22 a
NI	1,05 a	1,16 a
I	1,04 a	1,11 a

Obs: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5 % de probabilidade; a e b comparam médias adjacentes na vertical.

efeito da I. No NC, a I aumentou a MSPA em 13 % com P2 e, também, por efeito de diluição, ocorreu redução do P na parte aérea, de 1,64 para 1,43 g.kg⁻¹. O teor de P no solo era de 30 mg.dm⁻³ e houve uma colonização de 9 %.

No segundo cultivo, não houve efeito da I para LV e LRt (Tabela 29), e o efeito detrimental de I sobre o P na parte aérea em LE-C e também com P2 no primeiro cultivo, desapareceu no segundo, onde não houve efeito deste tratamento (Tabela 30). O mesmo aconteceu para o LRt, cuja redução de 17 %, no primeiro cultivo, foi anulada no segundo cultivo.

TABELA 30. Teor de P na parte aérea da braquiária no segundo cultivo, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em dois Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Concentração de P (g.kg ⁻¹)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo (LA)				
NC	0,80 b B	1,23 b	1,04 b	0,99 b
C	1,01 a B	1,60 a	1,32 a	1,29 a
P1	-	-	0,93 b	0,88 b
P2	-	-	1,43 a	1,40 a
Latossolo Vermelho-Escuro (LE)				
NC	1,58 a	0,99 a B	1,32 a	1,25 a
C	0,88 b B	1,01 a	0,95 b	0,94 b
P1	-	-	1,27 a	1,19 a
P2	-	-	1,00 b	1,00 b

Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5 %;
 - A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

3.2.3. Acúmulo de P na parte aérea

Com relação ao P acumulado na parte aérea da braquiária, ocorreram apenas efeitos individuais dos fatores estudados para o LV e LRt, enquanto, no LA e LE, ocorreram também interações duplas (Tabela 31). Os maiores valores ocorreram com P2 para LV, LA e LE, e no NC, para o LRt, enquanto os menores ocorreram com P1 para o LV e LRt, e com P1 no NC para o LA e LE (Tabelas 32 e 33).

A elevação da dose de P aumentou o P acumulado na parte aérea da braquiária em todos os solos (Figura 9). No LA, a resposta foi influenciada por

TABELA 31. Significância dos fatores experimentais e suas interações sobre o P acumulado na parte aérea da braquiária em dois cultivos.

FV	Solo				
	LA	LV	LE	LRg	LRt
H	ns	ns	*	-	*
P	*	*	*	-	*
I	ns	ns	ns	-	ns
P x H	*	ns	*	-	ns
I x H	ns	ns	ns	-	ns
I x P	ns	ns	ns	-	ns
I x P x H	ns	ns	ns	-	ns

* - Signif. ao nível de 5% de probabilidade.

ns - Não significativo.

TABELA 32. P acumulado na parte aérea da braquiária nos dois cultivos, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em dois Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	P acumulado (mg)	
	LV	LRt
NC	51,64 a	103,27 a
C	53,57 a	75,97 b
P1	31,17 b	72,24 b
P2	65,81 a	95,11 a
NI	51,13 a	92,36 a
I	54,08 a	86,88 a

Obs: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;
a e b comparam médias adjacentes na vertical.

TABELA 33. P acumulado na parte aérea da braquiária nos dois cultivos, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrizico (NI e I) em dois Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	P acumulado (mg)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo (LA)				
NC	34,04 b B	108,25 a	68,09 a	74,20 a
C	52,17 a B	96,60 b	74,30 a	74,46 a
P1	-	-	41,33 b	44,88 b
P2	-	-	101,05 a	103,79 a
Latossolo Vermelho-Escuro (LE)				
NC	13,61 b B	85,80 a	49,76 b	49,65 b
C	41,26 a B	83,75 a	62,55 a	62,46 a
P1	-	-	25,84 b	29,03 b
P2	-	-	86,47 a	83,08 a

Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5 % de probabilidade;
 - A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

H, ocorrendo aumentos de 218 e 85 % para o NC e C. A diferença de resposta entre NI e I foi muito pequena, o que indica que a inoculação não teve efeito. No LE, a resposta variou com H e I, sendo também maior no NC (531 %) do que no C (103 %) e no NI (235 %) do que no I (186 %) (Tabela 33). A menor resposta no C deve-se ao já elevado teor de P nestes solos, 55 mg.dm⁻³ (Tabela 5A), antes do primeiro cultivo. A elevação da dose de P aumentou ainda o P acumulado em 111 % no LV e em apenas 32 % no LRt (Tabela 32), o que se deve também ao seu mais alto P disponível.

Em nenhum solo houve efeito da I no acúmulo de P na planta.

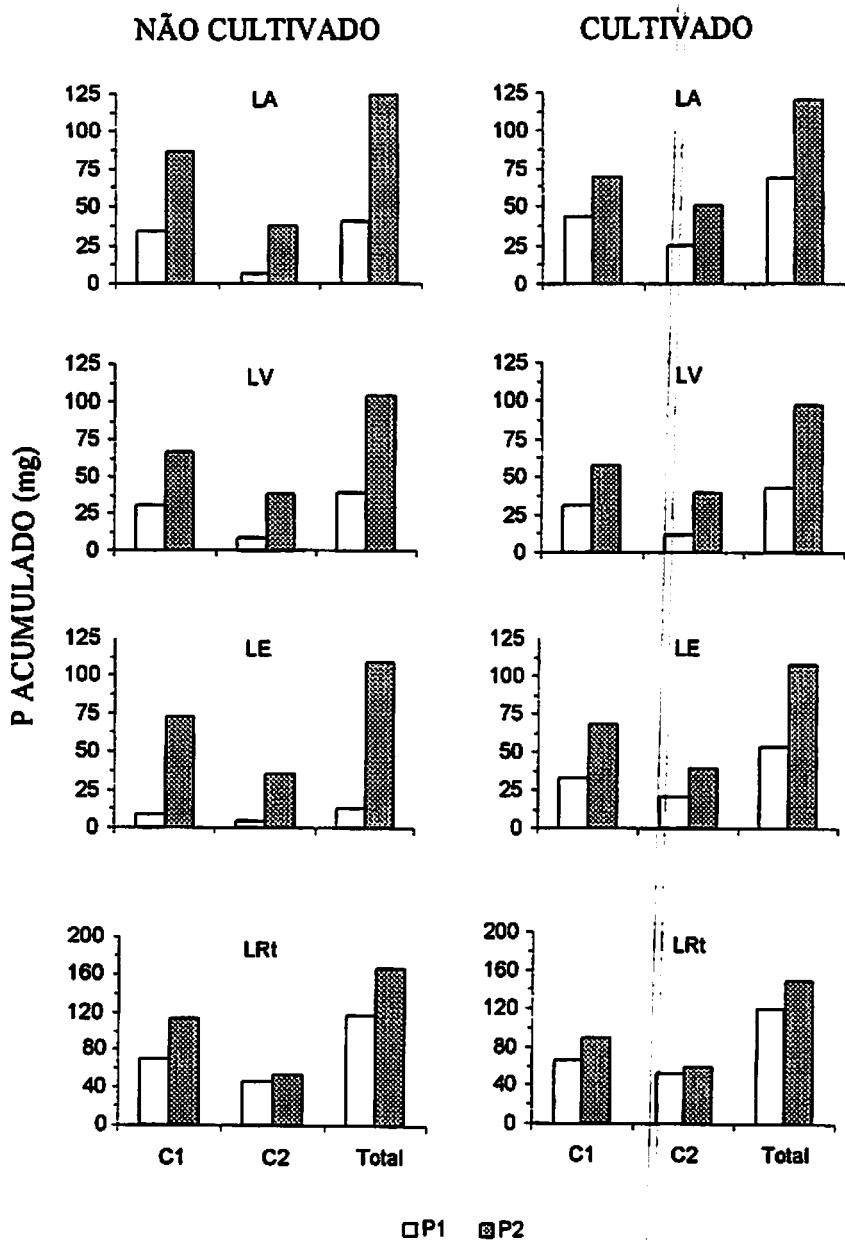


FIGURA 9. P acumulado em braquiária, no primeiro (C1), segundo cultivo (C2) e total, em quatro Latossolos previamente cultivados ou não.

3.2.4. Relações entre MSPA e absorção de P com os teores de P no solo

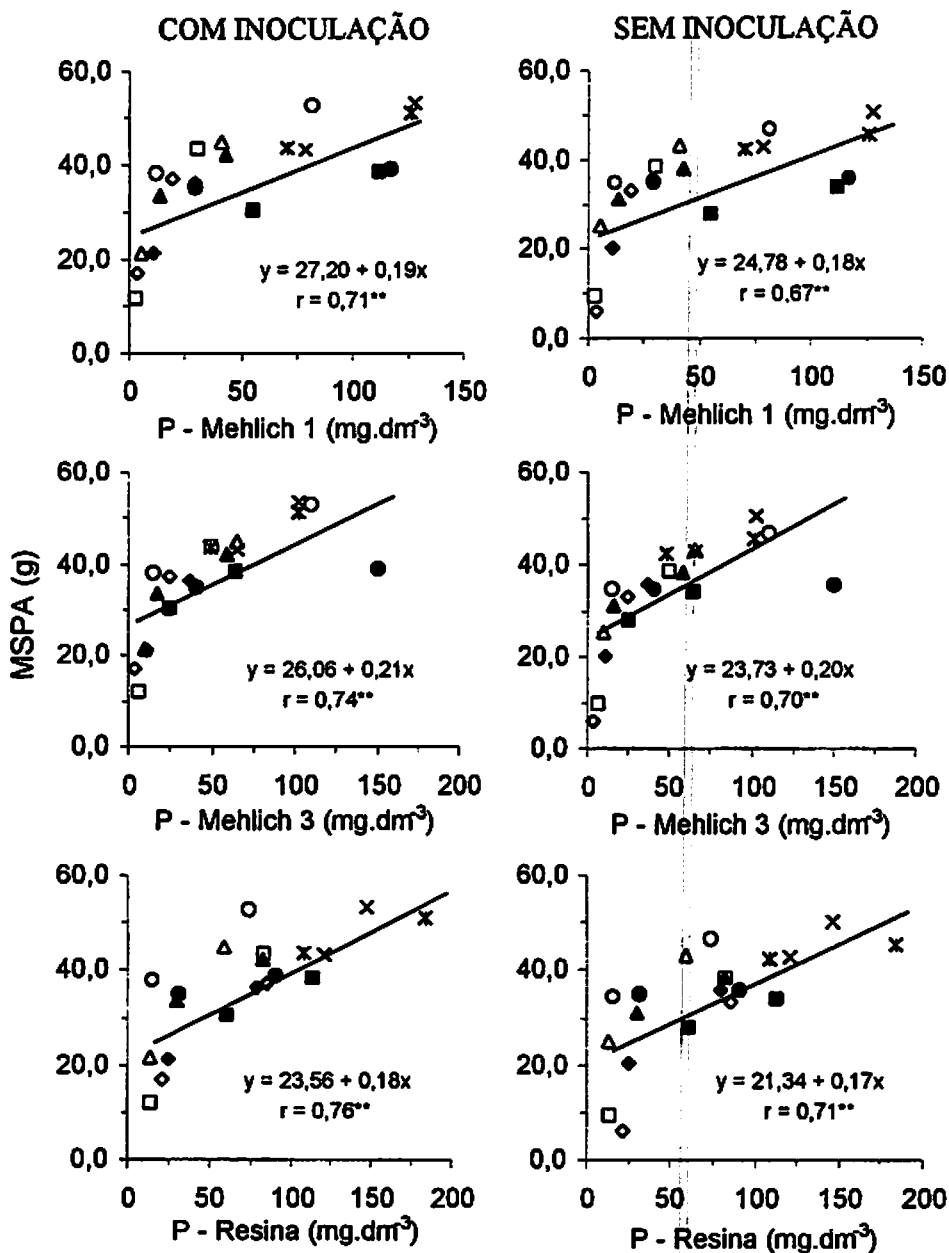
A MSPA, a concentração de P e o P acumulado total na MSPA da braquiária correlacionaram-se positivamente com o teor de P no solo, nos dois cultivos, sendo constatadas diferenças no grau de associação destas variáveis em função da inoculação (Tabela 34) e nos parâmetros das equações que exprimem esta relação (Figuras 10, 11 e 12). A interseção das retas com o eixo das ordenadas ocorre em valores mais altos de MSPA na presença de inoculação, significando uma maior produção de material vegetal quando o nível de P no solo é baixo. Embora a diferença seja pequena, os coeficientes da correlação linear entre o teor de P no solo e a MSPA, para os três extratores, foram mais altos na presença da inoculação. Observou-se, também, uma tendência dos coeficientes serem também um pouco mais altos no segundo cultivo.

TABELA 34. Coeficientes de correlação entre P no solo, obtido por três extratores, e matéria seca, teor de P e P acumulado na parte aérea da braquiária, por cultivo.

Parâmetros da planta	P no solo					
	Mehlich-1		Mehlich-3		Resina	
	NI	I	NI	I	NI	I
Primeiro cultivo						
MS	0,67**	0,71**	0,70**	0,74**	0,71**	0,76**
Teor de P	0,78**	0,68**	0,81**	0,78**	0,66**	0,58**
P Acumulado	0,82**	0,71**	0,85**	0,81**	0,76**	0,77**
Segundo cultivo						
MS	0,76**	0,82**	0,78**	0,76**	0,80**	0,79**
Teor de P	0,27 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,56*	0,18 ^{ns}	0,34 ^{ns}
P Acumulado	0,82**	0,83**	0,93**	0,93**	0,80**	0,83**

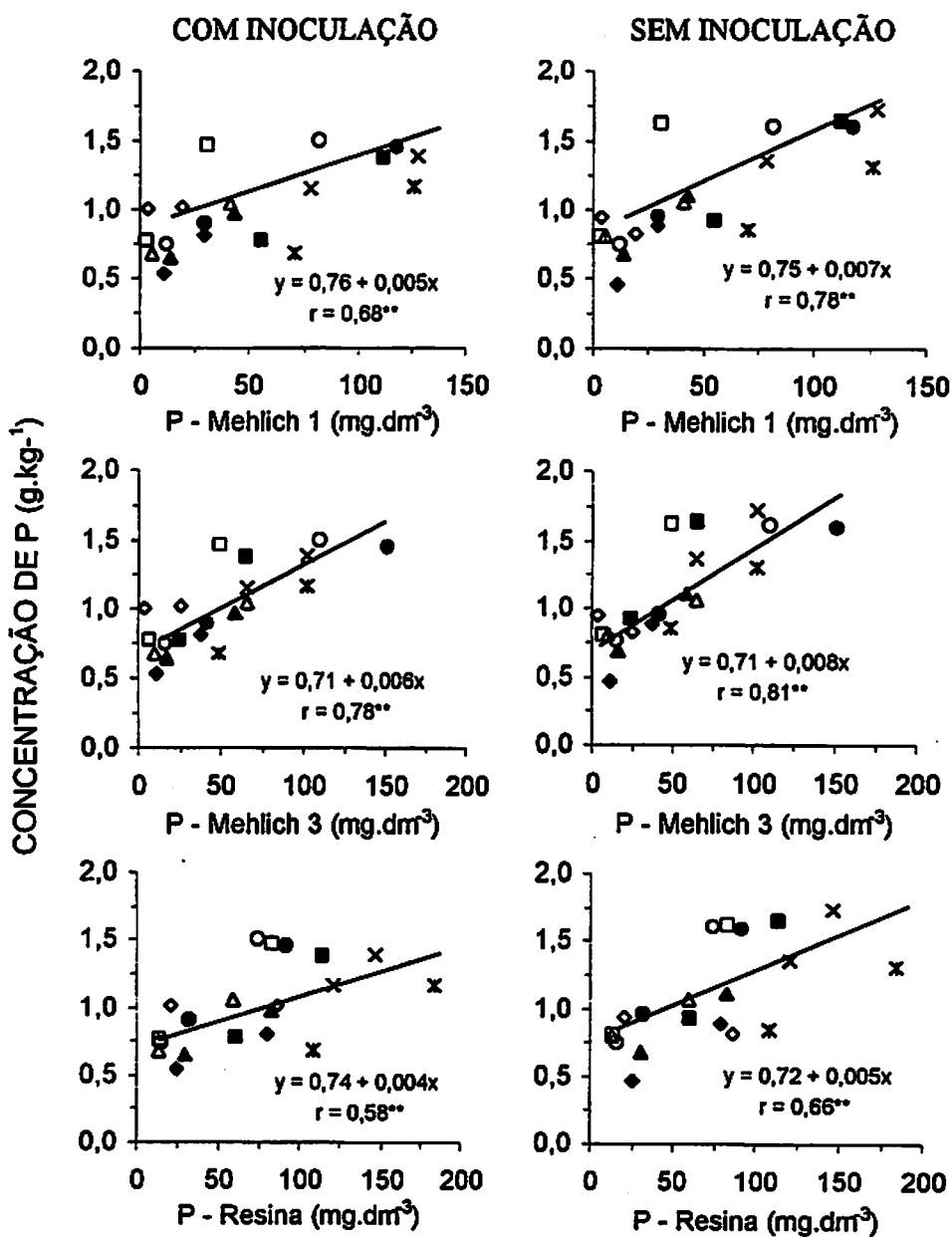
*, ** - Significativo a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente.

ns - Não significativo.



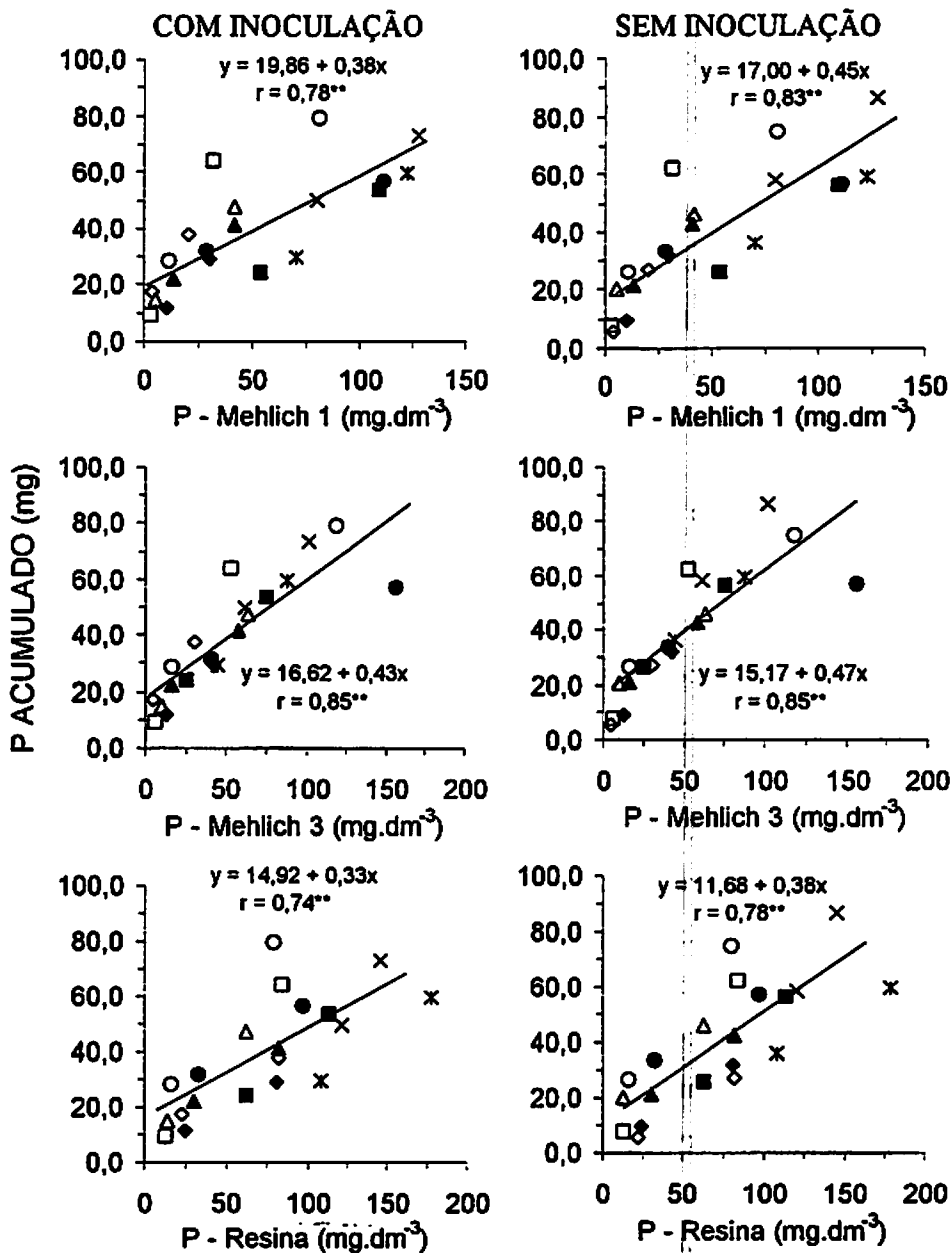
OLA - NC ●LA - C ▲LV - NC ▲LV - C □LE - NC ■LE - C ◊LRg - NC ◆LRg - C ✕LRi - NC ✕LRi - C

FIGURA 10. Correlação entre o P no solo, obtido por três extratores, e a matéria seca da parte aérea da braquiária, no primeiro cultivo.



OLA - NC ●LA - C ▲LV - NC ▲LV - C □LE - NC ■LE - C ◇LRg - NC ◆LRg - C ✕LRi - NC ✕LRi - C

FIGURA 11. Correlação entre o P no solo, obtido por três extratores, e a concentração de P na parte aérea de braquiária, no primeiro cultivo.



○LA - NC ●LA - C △LV - NC ▲LV - C □LE - NC ■LE - C ◇LRg - NC ◆LRg - C ✕LRi - NC ✕LRi - C

FIGURA 12. Correlação entre o P no solo, obtido por três extratores, e P acumulado na parte aérea de braquiária, no primeiro cultivo.

Em relação à concentração de P (Figura 11) e o P acumulado no primeiro cultivo (Figura 12), não houve diferenças entre os parâmetros das equações com relação à inoculação ou NI. Não houve tendência nítida também quanto à superioridade dos coeficientes de correlação em uma ou outra situação nos dois cultivos. Quanto à concentração de P, os coeficientes não foram significativos no segundo cultivo para todos os extratores independentemente da inoculação, ao passo que, para o P acumulado, a exemplo do ocorrido para a MSPA, foram mais altos no segundo cultivo.

3.3. Dessorção de P

Com a aplicação de P, houve, para todos os solos, cultivados e não cultivados, um aumento no teor deste elemento, extraído com M-1, M-3 e Resina, sendo a concentração máxima detectada após a incubação (35 dias). A partir dessa época, ocorreu uma redução gradativa, que foi afetada pelo tipo de solo, dose de P e extrator (Figuras 13 e 14). Esta redução tendeu a estabilizar-se para os solos que receberam a dose menor, a partir da segunda extração. Embora o mesmo não tenha ocorrido para os solos que receberam a dose maior, isto pode ser atribuído, em sua maior parte, à adsorção pelos constituintes do solo, especialmente os óxidos de ferro. Exceto para o LRt, o formato das curvas foi bastante semelhante para as duas culturas. O comportamento diferenciado dos extratores, observado nas Figuras 13 e 14, deve-se à habilidade destes em extrair preferencialmente o P presente em determinada forma. A Resina extraiu mais P no LV, LE, LRg e LRt devido ao P estar ligado, na sua maior parte, a Fe e Al (Tabelas 6 e 7, Capítulo 2), ao passo que M-1 e M-3 extraíram mais no LA, onde o conteúdo de P nessa fração é o menor dentro dos solos estudados. O M-1 extraiu mais que o M-3 no LE cultivado e no LRt não cultivado e cultivado, o que se deve à sua maior capacidade de extração de P-Ca, forma de P expressiva

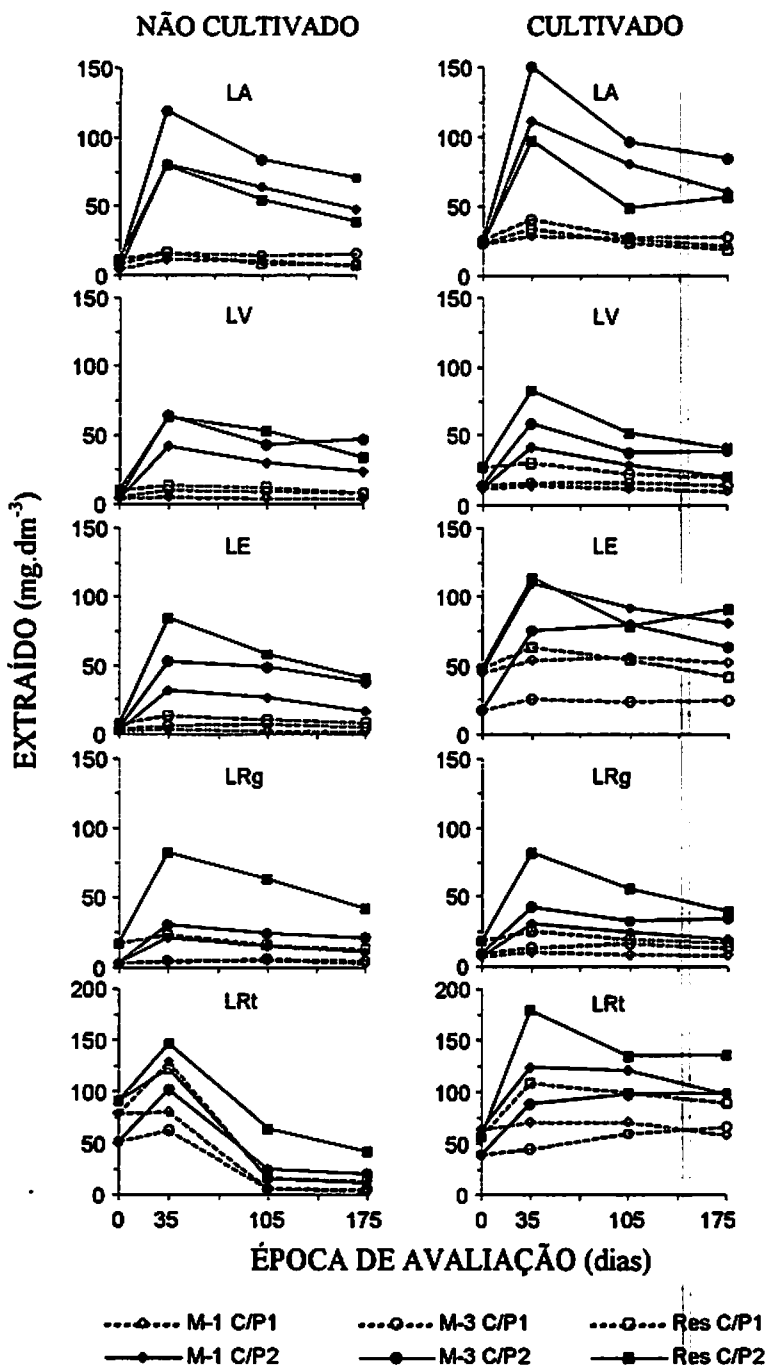


FIGURA 13. P extraído com M-1 (Mehlich-1), M-3 (Mehlich-3) e R (Resina) de Latossolos já cultivados ou não, e adubados com duas doses de P (P1 e P2) na condição original (0) e aos 35 (antes do plantio), 105 (após o 1º cultivo) e 175 (após o 2º cultivo com soja) dias após a aplicação de P.

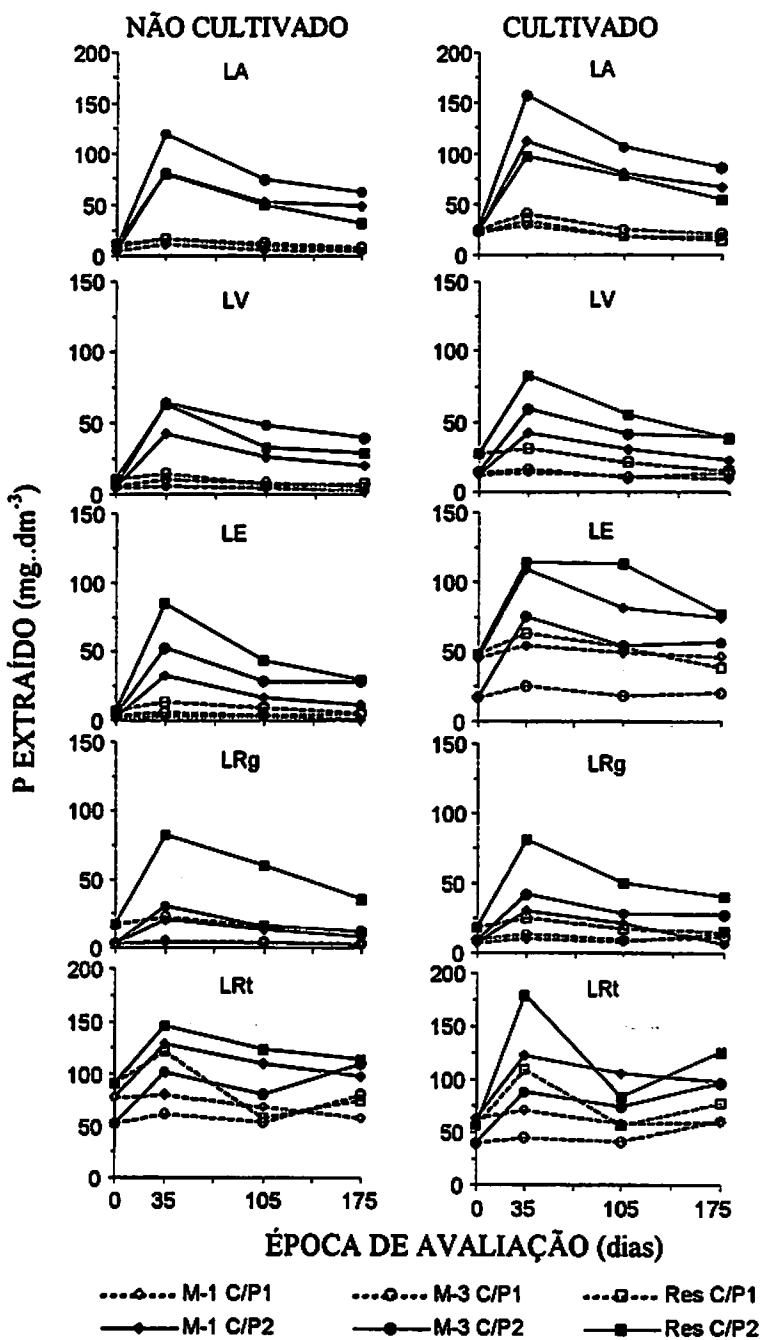


FIGURA 14. P extraído com M-1 (Mehlich-1), M-3 (Mehlich-3) e R (Resina) de Latossolos já cultivados ou não, e adubados com duas doses de P (P1 e P2) na condição original (0) e aos 35 (antes do plantio), 105 (após o 1º cultivo) e 175 (após o 2º cultivo com braquiária) dias após a aplicação de P.

nestes solos (Tabelas 6 e 7, Capítulo 2).

Para a soja, o P no solo comportou-se de modo semelhante àquele para a braquiária. Embora não se tenha observado aumento na disponibilidade de P no LRt, houve pelo menos uma maior constância de valores do P determinado após o primeiro e o segundo cultivos quando comparado com os demais solos (Figura 13). Um pequeno aumento no teor de P foi mostrado apenas pela Resina no LE cultivado.

No experimento com braquiária, a diferença entre os teores de P extraídos com M-1 após o primeiro e o segundo cultivos foi menor no LRt, sendo inclusive detectado pela Resina e M-3 no solo não cultivado que recebeu a dose mais baixa de P, um aumento na disponibilidade de P. O mesmo foi detectado pelo M-3 no LRt não cultivado que recebeu P2. Para o solo cultivado, este aumento foi mais evidente, sendo detectado tanto na dose mais alta quanto na mais baixa de P pelo M-3 e principalmente pela Resina (Figura 14). O fato destes solos serem justamente os que apresentam, nas condições naturais, maior quantidade de P ligado a cálcio (Tabelas 6 e 7, Capítulo 2), sugere ter ocorrido uma maior disponibilização de P com a grande absorção do cálcio pelas plantas, a maior dentre todos os solos estudados, corroborando as constatações de Johnston & Olsen (1972) e Barrow (1980).

3.4. Discussão geral

A soja respondeu mais do que a braquiária à elevação da dose de P em todos os solos, exceto no LE, onde a resposta máxima da braquiária foi mais alta nos dois cultivos. Neste solo, a concentração de P era muito baixa em condições naturais e mesmo a braquiária, que é mais eficiente do que a soja no aproveitamento de P em baixas concentrações na solução do solo (Goedert & Souza, 1986), produziu menos MSPA. No LE cultivado, entretanto, a resposta

da braquiária a P foi muito mais baixa que a da soja, 20 e 70 %, respectivamente, no primeiro cultivo, e 60 e 90 % no segundo cultivo, o que indica que a braquiária teve maior acesso ao P ligado a formas menos lábeis do solo, o que está em consonância com o histórico de uso deste solo, que recebeu durante o cultivo a campo, por vários anos, calagens e adubações fosfatadas pesadas, conforme confirmado pelos resultados de análise dos parâmetros de fertilidade (Tabela 6A, Capítulo 2) . Este solo, quando cultivado, revelou valores relativamente elevados de P ligado a cálcio, corroborando a afirmativa anterior.

A resposta máxima da soja no LA ocorreu no solo não cultivado e a mínima no cultivado, ambos não inoculados, indicando efeito benéfico da inoculação na utilização de P do solo, ao passo que, para a braquiária, a resposta foi independente da inoculação com fungo micorrízico. No LV, a resposta máxima da soja também ocorreu em solo não inoculado, ao passo que a mínima ocorreu em solo inoculado, onde a resposta foi semelhante àquela dos solos cultivados. Neste caso, o efeito da inoculação foi equivalente ao do histórico de uso. No segundo cultivo, as respostas máximas e mínimas ocorreram no solo não cultivado e cultivado, respectivamente, sendo estas independentes da inoculação. Com a braquiária ocorreu o inverso, sendo o efeito da inoculação evidente no segundo cultivo, quando as respostas máximas e mínimas, bem maiores que no primeiro cultivo, corresponderam ao solo não inoculado e inoculado, respectivamente. Isto indica que à medida que reduz a disponibilidade do P no solo, a inoculação passa a ter uma atuação mais relevante, fato amplamente documentado na literatura para os efeitos das micorrizas (Siqueira e Saggin-Júnior, 1995). No LE, as respostas a P foram também maiores no segundo cultivo e independentes da inoculação. No LRt as respostas à aplicação de P em ambas culturas foram baixas e diferiram pouco entre cultivos. No segundo cultivo, só houve resposta da braquiária a P nas

plantas não inoculadas. No primeiro cultivo, a resposta máxima da braquiária ocorreu para os solos não cultivados e com inoculação, enquanto a mínima ocorreu para solos cultivados e sem inoculação. A resposta máxima a P, de ambas espécies, foi a mais baixa entre os solos estudados, nos dois cultivos, o que resulta dos altos teores originais de P neste solo, que também apresentou alta produção de MSPA mesmo com a menor dose de P. A maior resposta ocorreu para o solo não cultivado, apesar deste apresentar originalmente maior teor de P disponível, provavelmente devido à maior CMAF no NC (3000 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de solo) que no C (2092 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de solo).

Tanto para a braquiária quanto para a soja, a produção de MSPA em todos os solos foi menor no segundo cultivo. A magnitude da redução dependeu da produção no primeiro, ou seja, quando houve um bom desenvolvimento das plantas no primeiro cultivo, ocorreu uma maior redução do P disponível no solo e, conseqüentemente, uma menor produção no segundo, indicando baixa capacidade destes solos de dessorver o P (Curi & Franzmeier, 1984; Colombo et al., 1994). Deve ser ressaltado o caso do LRt, onde a resposta da soja a P no 2º cultivo foi menor no NC, o que está de acordo com o aumento da dessorção e maior disponibilidade de P (Figura 13). No LA não cultivado, que não recebeu P e não foi inoculado, por exemplo, a produção de MSPA pela braquiária foi 84 % menor no segundo cultivo, enquanto, para a soja, a redução foi de 32 % (Tabela 15A). A maior queda para a braquiária ocorreu devido ao seu maior aproveitamento de P na ausência de I, o que fez com que houvesse um bom desenvolvimento vegetal no primeiro cultivo, maior consumo de P e menor produção no segundo cultivo. A maior capacidade da braquiária no aproveitamento de P em relação à soja nestas condições pode ser explicada pelo seu maior volume de raízes finas e, portanto, maior capacidade de absorção de P do solo. Além disso, Goedert & Souza (1986) consideram que a maior

capacidade da braquiária em absorver o P em menor concentração na solução do solo é uma característica importante desta espécie neste contexto.

A inoculação reduziu a queda de produção da braquiária em 20 % no LA, enquanto aumentou em cerca de 160 % a da soja. Isto significa que a soja beneficiou-se mais da inoculação no primeiro cultivo, desenvolvendo-se mais, consumindo mais P e produzindo menos MSPA no segundo cultivo. A soja de fato apresenta maior dependência micorrízica que a braquiária (Siqueira & Franco, 1988) por possuir sistema radicular menos ramificado e apresentar alta demanda de P. Diferenças de respostas, entre espécies, à micorrização ficam evidentes nos estudos de correlação entre MSPA e P no solo pelos diferentes extratores. O maior aproveitamento do P por plantas micorrizadas foi indicado pelos valores mais altos da interseção das retas que expressam a relação mencionada, ou seja, em baixo P, plantas inoculadas cresceram melhor que as sem inoculação. Isto ocorreu porque a maior absorção de P é o principal mecanismo de resposta das plantas à micorrização nos solos deficientes neste nutriente. As diferenças entre essas interseções foram mais acentuadas para a soja do que para a braquiária (Figuras 4 e 10), o que mostra, mais uma vez, que aquela se beneficia mais da inoculação que a braquiária.

Os resultados indicam que, independentemente do solo, a presença de micorrizas aumenta a capacidade destas duas espécies em aproveitar o P retido no solo, resultante de aplicações ao longo do processo de cultivo.

4. CONCLUSÕES

1. Apesar de pertencerem ao mesmo grupamento taxonômico, os solos tiveram comportamento diferenciado quanto à resposta aos fatores estudados. O cultivo reduziu a resposta a P e à inoculação, e a magnitude desta redução também variou com o solo.

2. A resposta a P foi diferenciada entre os solos, maior ou menor em relação ao cultivo e menor nas plantas inoculadas, devido ao maior aproveitamento do P do solo por estas.
3. A resposta de ambas espécies à inoculação foi muito influenciada pelo cultivo, sendo em geral maior nos solos cultivados, ocorrendo, todavia, variações de acordo com a classe de solo. Foi também afetada pelas doses de P, sendo menor na maior dose deste nutriente, neste caso independentemente do solo.
4. A presença de micorrizas influenciou a relação entre o P no solo por diferentes extratores e o P absorvido pelas plantas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, G.L.N. Micorriza vesicular-arbuscular no crescimento e utilização do fósforo do solo pela braquiária e estilosantes. Lavras, MG, ESAL, 42p., 1988 (Dissertação de Mestrado).
- BARROW, N. J. Evaluation and Utilization of Residual Phosphorus in Soils. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E. J. (Eds.) The role of phosphorus in agriculture. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.333-359.
- BOLAN, N.S. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, v.134, p.189-207, 1991.
- COLOMBO, C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Phosphate adsorption and desorption in relation to morphology and cristal properties of synthetic hematites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.58, n.4, p.1261-1269, 1994.
- CURI, N.; FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. *Soil Science Society of America. Journal*, Madison, v.48, p.341-346, 1984.

- FITTER, A.H. Costs and benefits of mycorrhizas: Implications for functioning under natural conditions. *Experientia*, v.47, p.350-355, 1991.
- GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, London, 46:235-244, 1963.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, v.84, p.484-500, 1980.
- GOEDERT, W.J.; SOUZA, D.M.G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: SEMINÁRIO FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES - SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS NA AGRICULTURA, São Paulo, 1984. Anais..., São Paulo: MANAH S/A, 1986. p.21-53
- JOHNSTON, W.B.; OLSEN, R.A. Dissolution of fluorapatite by plant roots. *Soil Science*, Baltimore, v.114, n.1, p.29-36, 1972.
- LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região Centro-Oeste. In: OLIVEIRA, A.J. et al. (ed) Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.201-240.
- NURLAENY, N.; MARSCHNER, H.; GEORGE, E. Effects of liming and mycorrhizal colonization on soil phosphate depletion and phosphate uptake by maize (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.) grown in two tropical acid soils. *Plant and Soil*, v.181, p.275-285, 1996
- PENG, S.; EISSENTSTAT, D.M.; GRAHAM, J.H.; WILLIAMS, K.; HODGE, N.C. Growth depression in mycorrhizal citrus at high-phosphorus supply. Analysis of carbon costs. *Plant Physiology*, v.101, p.1063-1071, 1993.
- SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. Biotecnologia do solo. Fundamentos e perspectivas. Brasília: MEC; Lavras: ESAL, FAEPE, 1988. 266p.
- SIQUEIRA, J.O.; SAGGIN-JR, O.J. The importance of mycorrhizae association in natural low-fertility soils. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM PERSPECTIVA. Belo Horizonte, 1992. Anais... Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1995. p.240-280.

TINKER, P.B. Economy and chemistry of phosphorus. *Nature*, v.270,
p.103-104, 1977.

ANEXOS

ANEXO A		Página
TABELA 1A	Composição granulométrica dos solos	134
TABELA 2A	Atributos químicos dos solos em condições naturais	135
TABELA 3A	Matéria seca (g) da parte aérea de milho, cultivado em cinco Latossolos previamente submetidos (C) ou não (NC) ao cultivo, em função de diferentes concentrações de P.....	136
TABELA 4A	Colonização micorrízica (%) em braquiária e soja....	137
TABELA 5A	Teor de P no solo antes do primeiro cultivo, obtido por diferentes extratores	138
TABELA 6A	Teor de P no solo (mg.dm^{-3}) após o primeiro cultivo, obtido por diferentes extratores.....	139
TABELA 7A	Teor de P no solo (mg.dm^{-3}) após o segundo cultivo, por diferentes extratores.....	141
TABELA 8A	Percentual de redução de MSPA entre cultivos.....	143
TABELA 9A	Teores de P (mg.dm^{-3}) extraídos pela resina em cinco Latossolos previamente cultivados (C) ou não (NC) e que receberam diferentes doses de (P1 e P2).....	145
TABELA 10A	Matéria seca das raízes da soja no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrízico (NI e I) em cinco Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).....	146
TABELA 11A	Matéria seca das raízes da soja no segundo cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em um Latossolo previamente cultivado (C) ou não cultivado (NC)....	147

TABELA 12A	Matéria seca das raízes da soja no segundo cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em quatro Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).....	148
TABELA 13A	Teor de P nas raízes de soja no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em cinco Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).....	149
TABELA 14A	Teor de P nas raízes de soja no segundo cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).	150
TABELA 15A	Matéria seca das raízes da braquiária, no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em quatro latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).....	151
TABELA 16A	Matéria seca das raízes da braquiária, no segundo cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em três latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).....	152
TABELA 17A	Teor de P nas raízes de braquiária, no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em quatro latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).....	153
TABELA 18A	Teor de P nas raízes de braquiária, no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em um latossolo previamente cultivado (C) ou não cultivado (NC).....	154

ANEXO A**Página**

TABELA 19A	Teor de P nas raízes de braquiária, no segundo cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em dois latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).....	155
TABELA 20A	Teor de P nas raízes de braquiária, no segundo cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em um latossolo previamente cultivado (C) ou não cultivado (NC).....	156
TABELA 21A	Teor de P nas raízes de braquiária, no segundo cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em dois latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).....	157

ANEXO B

Página

FIGURA 1B

**Correlação entre teor de argila da TFSA e
capacidade máxima de adsorção de fósforo dos
solos estudados**

158

TABELA 1A. Composição granulométrica dos solos

Solo	Areia		Silte	Argila
	Gross	Fina		
	(g kg ⁻¹)			
LA - NC ¹	370	100	90	440
LA - C	330	130	110	430
LV - NC	200	240	200	360
LV - C	230	210	180	380
LE - NC	110	100	120	670
LE - C	160	110	100	630
LR - gabro - NC	120	80	160	640
LR - gabro - C	90	60	190	660
LR - tufito - NC	100	80	240	580
LR - tufito - C	110	60	230	600

¹ LA: Latossolo Amarelo; LV: Latossolo Vermelho - Amarelo; LE: Latossolo Vermelho - Escuro; LR: Latossolo Roxo; C: cultivado; NC: não cultivado

TABELA 2A. Atributos químicos dos solos em condições naturais.

Atributos	Solos									
	LA		LV		LE		LRg		LRt	
	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C
pH em água	5,7	5,9	5,4	5,7	4,9	5,8	5,5	6,1	4,9	5,2
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,0	0,6	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,8	0,2
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,2	3,0	1,7	3,4	1,2	3,7	3,2	7,2	2,3	2,2
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,8	1,2	0,8	0,9	0,1	0,2	0,2	0,3	0,9	1,1
K ⁺ (mg dm ⁻³)	90	73	101	172	36	59	153	162	64	166
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4,0	2,3	6,3	3,6	9,8	2,9	4,0	2,3	12,3	7,0
P-Mehlich-1 (mg dm ⁻³)	4	22	4	12	2	45	3	7	78	63
P-Resina (mg dm ⁻³)	11	23	10	27	7	48	17	18	91	57
B (mg dm ⁻³)	0,31	0,31	0,15	0,23	0,23	0,26	0,26	0,29	0,26	0,26
Cu (mg dm ⁻³)	0,9	3,0	0,5	2,0	1,6	1,0	4,1	5,1	7,4	10,2
Fe (mg dm ⁻³)	175,7	150,2	149,7	158,7	328,5	99,7	108,5	115,5	525,9	176,6
Mn (mg dm ⁻³)	66,2	56,9	27,3	75,2	18,7	6,1	93,5	21,0	113,7	77,7
Zn (mg dm ⁻³)	2,5	5,7	1,3	7,9	1,4	2,8	2,7	8,3	2,6	4,7
S (cmol _c dm ⁻³)	4,2	4,4	2,8	4,7	1,4	4,1	3,8	7,9	3,4	3,7
t (cmol _c dm ⁻³)	4,2	4,4	2,9	4,7	2,3	4,1	3,8	7,9	4,2	3,9
T (cmol _c dm ⁻³)	8,2	6,7	9,1	8,3	11,2	7,0	7,8	10,2	15,7	10,7
V.(%)	51	66	31	57	13	58	49	77	21	35
m (%)	0	0	18	0	39	0	0	0	19	5
C org. (g.kg ⁻¹)	22,3	13,6	21,9	19,5	26,4	19,1	30,0	23,6	49,5	31,9

LA: Latossolo Amarelo; LV: Latossolo Vermelho-Amarelo; LE: Latossolo Vermelho-Escuro; LRg: Latossolo Roxo de gabra; LRt: Latossolo Roxo de tufito; NC: Não cultivado; C: Cultivado.

TABELA 3A. Matéria seca (g) da parte aérea de milho, cultivado em cinco Latossolos previamente submetidos (C) ou não (NC) ao cultivo, em função de diferentes concentrações de P.

Solo	Concentrações de P (mg kg ⁻¹)					
	0	50	100	200	400	600
LA-NC	0,48	2,46	3,19	3,04	3,34	-
LA-C	0,88	2,30	2,64	2,26	2,89	-
LV-NC	0,61	1,69	2,81	3,91	3,88	-
LV-C	0,60	1,57	2,38	3,05	2,93	-
LE-NC	0,64	0,92	1,21	1,45	2,81	-
LE-C	0,55	1,18	1,16	1,42	1,78	-
LRg-NC	0,36	0,49	0,95	1,44	1,87	-
LRg-C	0,62	0,50	1,07	1,37	1,09	-
LRT-NC	1,19	1,24	2,33	2,37	2,75	2,48
LRT-C	0,86	1,38	2,46	2,82	2,73	2,97

LA: Latossolo Amarelo; LV: Latossolo Vermelho-Amarelo; LE: Latossolo Vermelho-Escuro; LRg: Latossolo Roxo de gabra; LRT: Latossolo Roxo de tufito

TABELA 4A. Colonização micorrizica (%) em braquiária e soja.

Solo/Trats	Colonização micorrizica (%)			
	Bq1	Bq2	Sj1	Sj2
LA NC P2	0	4	34	17
LA NC P1	22	30	46	29
LA C P2	0	0	0	0
LA C P1	0	0	50	20
LV NC P2	0	7	35	26
LV NC P1	37	41	56	3
LV C P2	0	0	24	30
LV C P1	19	25	49	20
LE NC P2	9	9	65	33
LE NC P1	38	71	51	3
LE C P2	0	0	10	14
LE C P1	8	41	30	16
LRg NC P2	18	30	56	38
LRg NC P1	53	60	39	9
LRg C P2	0	39	54	21
LRg C P1	24	57	62	7
LRt NC P2	0	17	47	53
LRt NC P1	17	50	65	36
LRt C P2	0	0	36	28
LRt C P1	11	40	53	29

TABELA 5A. Teor de P no solo antes do primeiro cultivo, obtido por diferentes extratores.

Solo/trats	P (mg dm ⁻³)		
	M-1	M-3	R
Latossolo Amarelo			
LA NC P2	81	119	80
LA NC P1	11	16	16
LA C P2	111	157	97
LA C P1	29	40	33
Latossolo Vermelho-Amarelo			
LV NC P2	42	64	63
LV NC P1	5	10	14
LV C P2	41	58	82
LV C P1	14	16	30
Latossolo Vermelho-Escuro			
LE NC P2	32	53	84
LE NC P1	3	6	14
LE C P2	109	75	114
LE C P1	54	25	63
Latossolo Roxo - gabro			
LRg NC P2	21	30	82
LRg NC P1	4	5	23
LRg C P2	31	42	81
LRg C P1	11	13	25
Latossolo Roxo - tufito			
LRt NC P2	128	102	146
LRt NC P1	80	62	121
LRt C P2	123	88	178
LRt C P1	71	45	109

M-1: Mehlich-1; M-3: Mehlich-3; R: Resina

TABELA 6A. Teor de P no solo (mg dm^{-3}) após o primeiro cultivo, obtido por diferentes extratores.

Solo/Trats	Braquiária			Soja		
	M-1	M-3	R	M-1	M-3	R
LA NC P2 I	53	73	50	61	75	53
LA NC P2 NI	53	74	49	63	84	54
LA NC P1 I	5	11	10	10	13	7
LA NC P1 NI	6	13	10	10	14	8
LA C P2 I	72	104	95	79	101	48
LA C P2 NI	80	107	78	80	96	49
LA C P1 I	20	26	17	25	28	24
LA C P1 NI	18	25	18	27	28	23
LV NCP2 I	28	47	35	32	44	46
LV NCP2 NI	25	48	33	30	43	53
LV NCP1 I	3	8	6	5	8	10
LV NCP1 NI	4	8	6	5	9	12
LV C P2 I	29	41	50	34	48	60
LV C P2 NI	30	41	55	28	38	52
LV C P1 I	11	12	19	13	14	21
LV C P1 NI	11	10	21	12	16	22
LE NC P2 I	13	26	40	22	39	51
LE NC P2 NI	16	29	43	26	49	58
LE NC P1 I	3	4	8	3	7	10
LE NC P1 NI	3	4	9	3	7	11
LE C P2 I	79	52	107	92	78	80
LE C P2 NI	82	54	114	92	79	78
LE C P1 I	50	19	49	55	25	49
LE C P1 NI	49	18	53	56	24	54

...continua...

TABELA 6A, Cont.

Solo/Trats	Braquiária			Soja		
	M-1	M-3	R	M-1	M-3	R
LRg NC P2 I	13	16	55	13	21	57
LRg NC P2 NI	14	15	60	15	24	63
LRg NC P1 I	4	3	16	4	7	15
LRg NC P1 NI	4	4	16	5	6	16
LRg C P2 I	22	25	48	22	33	53
LRg C P2 NI	21	28	50	24	32	56
LRg C P1 I	8	9	17	8	16	19
LRg C P1 NI	8	9	17	9	16	20
LRt NC P2 I	106	77	107	118	107	92
LRt NC P2 NI	109	80	123	123	114	104
LRt NC P1 I	69	58	61	82	84	75
LRt NC P1 NI	68	53	58	79	74	82
LRt C P2 I	97	66	89	120	97	111
LRt C P2 NI	105	74	83	121	97	134
LRt C P1 I	62	41	56	67	55	101
LRt C P1 NI	58	41	56	71	60	99

M-1: Mehlich-1; M-3: Mehlich-3; R: Resina

TABELA 7A. Teor de P no solo (mg dm⁻³) após o segundo cultivo, por diferentes extratores.

Solo/Trats	Braquiária			Soja		
	M-1	M-3	R	M-1	M-3	R
LA NC P2 I	41	57	30	47	69	37
LA NC P2 NI	49	62	32	47	70	38
LA NC P1 I	4	7	5	6	12	6
LA NC P1 NI	4	8	6	7	15	7
LA C P2 I	69	87	56	57	88	53
LA C P2 NI	66	86	54	61	84	56
LA C P1 I	16	22	15	17	25	18
LA C P1 NI	17	21	14	21	27	18
LV NC P2 I	19	37	26	20	46	30
LV NC P2 NI	19	39	28	23	46	33
LV NC P1 I	2	5	7	4	7	8
LV NC P1 NI	2	5	7	4	8	9
LV C P2 I	23	38	36	25	42	47
LV C P2 NI	22	39	38	21	39	40
LV C P1 I	9	12	12	10	14	18
LV C P1 NI	9	13	15	10	15	20
LE NCP2 I	10	27	27	14	31	36
LE NCP2 NI	11	28	29	16	38	40
LE NCP1 I	2	6	6	2	5	10
LE NCP1 NI	2	5	6	2	5	8
LE C P2 I	103	58	82	79	64	89
LE C P2 NI	74	56	77	80	62	90
LE C P1 I	47	19	37	48	23	41
LE C P1 NI	47	20	38	52	24	42

...continua...

TABELA 7A, Cont.

Solo/Trats	Braquiária			Soja		
	M-1	M-3	R	M-1	M-3	R
LRg NC P2 I	7	14	35	9	16	37
LRg NC P2 NI	8	12	35	11	21	43
LRg NC P1 I	2	3	11	3	5	13
LRg NC P1 NI	2	3	11	3	5	13
LRg C P2 I	6	27	35	17	32	37
LRg C P2 NI	6	27	40	19	34	40
LRg C P1 I	14	11	14	8	13	15
LRg C P1 NI	14	11	15	9	13	17
LRt NC P2 I	94	103	119	107	67	128
LRt NC P2 NI	97	110	113	95	69	126
LRt NC P1 I	60	78	75	64	50	82
LRt NC P1 NI	58	81	75	67	75	78
LRt C P2 I	90	98	127	95	98	135
LRt C P2 NI	97	96	125	98	98	136
LRt C P1 I	55	58	90	59	61	65
LRt C P1 NI	59	60	77	58	67	90

M-1: Mehlich-1; M-3: Mehlich-3; R: Resina

TABELA 8A. Percentual de redução de MSPA entre cultivos.

Solo/Trats	Redução (%)	
	Braquiária	Soja
LA NC P1 NI	84	32
LA NC P1 I	68	51
LA NC P2 NI	47	39
LA NC P2 I	49	32
LA C P1 NI	48	39
LA C P1 I	40	17
LA C P2 NI	29	25
LA C P2 I	36	20
LV NC P1 NI	73	41
LV NC P1 I	30	69
LV NC P2 NI	42	25
LV NC P2 I	40	21
LV C P1 NI	64	17
LV C P1 I	46	58
LV C P2 NI	30	22
LV C P2 I	37	13
LE NC P1 NI	75	33
LE NC P1 I	61	77
LE NC P2 NI	32	39
LE NC P2 I	55	39
LE C P1 NI	42	43
LE C P1 I	30	21
LE C P2 NI	17	25
LE C P2 I	24	24

...continua...

TABELA 8A, cont.

LRg NC P1 NI	-	27
LRg NC P1 I	-	21
LRg NC P2 NI	-	35
LRg NC P2 I	-	25
LRg C P1 NI	-	11
LRg C P1 I	-	34
LRg C P2 NI	-	13
LRg C P2 I	-	10
LRt NC P1 NI	38	17
LRt NC P1 I	27	23
LRt NC P2 NI	39	28
LRt NC P2 I	41	31
LRt C P1 NI	41	34
LRt C P1 I	34	26
LRt C P2 NI	36	27
LRt C P2 I	38	32

TABELA 9A. Teores de P (mg dm^{-3}) extraídos pela resina em cinco Latossolos previamente cultivados (C) ou não (NC) e que receberam diferentes doses de (P1 e P2).

Solo/Trats	Épocas de avaliação (dias)		
	35	105	175
LA NC P1	16	10	10
LA NC P2	80	66	45
LA C P1	33	27	21
LA C P2	97	61	71
LV NC P1	14	6	10
LV NC P2	63	37	38
LV C P1	30	22	22
LV C P2	82	58	43
LE NC P1	14	9	9
LE NC P2	84	47	45
LE C P1	63	56	44
LE C P2	114	125	95
LRg NC P1	23	16	13
LRg NC P2	82	64	46
LRg C P1	25	18	18
LRg C P2	81	53	43
LRt NC P1	121	61	86
LRt NC P2	146	134	135
LRt C P1	109	59	98
LRt C P2	178	89	151

TABELA 10A. Matéria seca das raízes da soja no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de duas doses de fósforo (P1 e P2) e inoculação com fungo micorrizico (NI e I) em cinco Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Matéria seca (g)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo				
NC	4,18 a B	7,35 a	4,86 a B	6,67 a
C	4,10 a	4,61 b	4,73 a B	3,98 b
P1	-	-	3,76 b B	4,52 b
P2	-	-	5,83 a	6,13 a
Latossolo Vermelho-Amarelo				
NC	2,47 b B	7,12 a	4,22 a B	5,37 a
C	3,40 a B	5,05 b	3,58 a B	4,86 a
P1	-	-	1,52 b B	4,35 b
P2	-	-	6,29 a	5,88 a
Latossolo Vermelho-Escuro				
NC	1,88 b B	5,88 a	3,32 b B	4,45 a
C	3,68 a B	5,74 a	5,09 a	4,33 a
P1	-	-	2,27 b B	3,29 b
P2	-	-	6,14 a	5,48 a
Latossolo Roxo - gabro				
NC	1,67 a B	4,42 a	2,46 b B	3,64 a
C	1,84 a B	4,91 a	3,41 a	3,34 a
P1	-	-	1,12 b B	2,40 b
P2	-	-	4,75 a	4,58 a
Latossolo Roxo - tufito				
NC	5,92 a B	7,38 a	6,20 a	7,10 a
C	5,20 a B	7,24 a	5,75 a	6,69 a
P1	-	-	4,55 b B	6,57 a
P2	-	-	7,40 a	7,22 a

TABELA 11A. Matéria seca das raízes da soja no segundo cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em um Latossolo previamente cultivado (C) ou não cultivado (NC).

Histórico	Matéria seca (g)			
	- P		+ P	
	- I	+ I	- I	+ I
Latossolo Roxo - gabro				
NC	0,59 b B y	2,33 a B x	2,82 b x	3,75 a x
C	1,66 a x	1,42 a B y	2,31 b x	3,27 a x

- Obs:**
- Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;
 - As letras a e b comparam o efeito da inoculação (na horizontal, dentro do mesmo nível de P e mesmo histórico);
 - As letras A e B comparam o efeito da aplicação de fósforo (na horizontal, dentro do mesmo histórico e mesmo nível de inoculação);
 - As letras x e y comparam o efeito do histórico (na vertical, dentro dos mesmos níveis de fósforo e inoculação)

TABELA 12A. Matéria seca das raízes da soja no segundo cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em quatro Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Matéria seca (g)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo				
NC	2,41 a B	3,24 a	2,60 a B	3,05 a
C	2,56 a	2,75 b	2,63 a	2,69 a
P1	-	-	2,34 b	2,64 b
P2	-	-	2,89 a	3,10 a
Latossolo Vermelho-Amarelo				
NC	0,81 b B	3,24 a	1,90 b	2,14 a
C	1,99 a B	2,87 b	2,41 a	2,44 b
P1	-	-	1,23 b B	1,57 b
P2	-	-	3,09 a	3,02 a
Latossolo Vermelho-Escuro				
NC	0,61 b B	3,47 a	1,73 b B	2,35 a
C	2,27 a B	2,86 b	2,46 a	2,66 a
P1	-	-	1,37 b	1,51 b
P2	-	-	2,82 a B	3,50 a
Latossolo Roxo - tufito				
NC	4,27 a B	4,99 a	4,03 a B	5,23 a
C	3,91 a	4,39 b	3,79 a B	4,51 b
P1	-	-	3,26 b B	4,92 a
P2	-	-	4,57 a	4,81 a

Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;

- A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

TABELA 13A. Teor de P nas raízes de soja no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em cinco Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Concentração de P (g.kg ⁻¹)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo				
NC	0,84 b B	1,40 b	1,07 b	1,16 b
C	1,07 a B	3,50 a	2,05 a B	2,52 a
P1	-	-	0,86 b B	1,04 b
P2	-	-	2,26 a B	2,64 a
Latossolo Vermelho-Amarelo				
NC	0,79 b B	1,21 a	0,79 b B	1,21 b
C	1,20 a	1,22 a	1,01 a B	1,40 a
P1	-	-	0,73 b B	1,26 a
P2	-	-	1,07 a B	1,35 a
Latossolo Vermelho-Escuro				
NC	0,77 b B	1,62 a	0,84 b B	1,55 a
C	0,97 a B	1,53 a	1,14 a B	1,36 a
P1	-	-	0,65 b B	1,10 b
P2	-	-	1,32 a B	1,82 a
Latossolo Roxo - gabro				
NC	0,78 a B	1,35 a	0,83 a B	1,30 a
C	0,93 a	0,98 b	0,80 a B	1,11 a
P1	-	-	0,57 b B	1,14 a
P2	-	-	1,06 a	1,27 a
Latossolo Roxo - tufito				
NC	2,32 a	2,35 a	1,82 a B	2,86 a
C	2,22 a B	2,71 a	2,04 a B	2,89 a
P1	-	-	1,67 b B	2,87 a
P2	-	-	2,19 a B	2,88 a

TABELA 14A. Teor de P nas raízes de soja no segundo cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em três Latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Concentração de P (g.kg ⁻¹)		
	LE	LRg	LRt
NC	0,86 b	1,09 a	1,68 b
C	1,33 a	0,86 a	2,14 a
P2	1,36 a	1,25 a	1,97 a
P1	0,83 b	0,70 b	1,85 a
I	1,13 a	1,11 a	2,05 a
NI	1,06 a	0,84 b	1,77 b

Obs: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; a e b comparam médias adjacentes na vertical.

TABELA 15A. Matéria seca das raízes da braquiária, no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em quatro latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Matéria seca (g)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo				
NC	15,04 a B	17,16 a	15,29 a	16,90 a
C	12,78 b	13,65 b	12,08 b B	14,36 b
P1	-	-	12,95 a	14,87 a
P2	-	-	14,42 a	16,39 a
Latossolo Vermelho-Amarelo				
NC	12,26 a B	19,52 a	15,55 a	16,23 a
C	11,67 a	13,62 b	12,22 b	13,07 b
P1	-	-	12,21 b	11,71 b
P2	-	-	15,55 a	17,58 a
Latossolo Vermelho-Escuro				
NC	3,93 b B	10,37 b	7,08 b	7,22 b
C	9,96 a B	13,00 a	11,10 a	11,86 a
P1	-	-	6,79 b	7,10 b
P2	-	-	11,38 a	11,99 a
Latossolo Roxo - gabro				
NC	3,77 b B	11,87 b	6,37 b B	9,26 b
C	10,03 a B	13,96 a	10,84 a B	13,14 a
P1	-	-	5,42 b B	8,39 b
P2	-	-	11,80 a B	14,02 a

Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;
 - A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

TABELA 16A. Matéria seca das raízes da braquiária, no segundo cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em três latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Matéria seca (g)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo				
NC	4,67 b B	10,32 a	7,20 b	7,79 a
C	8,78 a B	11,06 a	10,24 a	9,60 a
P1	-	-	6,03 b	7,43 b
P2	-	-	11,42 a	9,96 a
Latossolo Vermelho-Amarelo				
NC	4,60 b B	10,20 a	6,24 b B	8,56 a
C	6,79 a B	10,11 a	7,70 a B	9,20 a
P1	-	-	3,66 b B	7,73 b
P2	-	-	10,28 a	10,03 a
Latossolo Vermelho-Escuro				
NC	1,35 b B	11,03 a	6,70 b	5,68 b
C	8,75 a B	10,37 a	9,60 a	9,52 a
P1	-	-	4,45 b B	5,64 b
P2	-	-	11,84 a	9,56 a

Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;

- A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

TABELA 17A. Teor de P nas raízes de braquiária, no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em quatro latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Concentração de P (g.kg ⁻¹)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo				
NC	0,60 b B	0,79 b	0,66 b	0,73 b
C	0,88 a B	1,05 a	1,01 a	0,92 a
P1	-	-	0,76 b	0,72 b
P2	-	-	0,90 a	0,94 a
Latossolo Vermelho-Amarelo				
NC	0,82 a B	1,03 b	0,97 a	0,89 a
C	0,81 a B	1,19 a	1,01 a	0,99 a
P1	-	-	0,81 b	0,82 b
P2	-	-	1,17 a	1,05 a
Latossolo Vermelho-Escuro				
NC	0,46 b B	0,99 a	0,63 b B	0,82 a
C	0,69 a B	1,05 a	0,84 a	0,91 a
P1	-	-	0,47 b B	0,68 b
P2	-	-	1,00 a	1,05 a
Latossolo Roxo - gabro				
NC	0,78 a B	0,96 a	0,77 a B	0,98 a
C	0,64 b B	0,88 a	0,73 a	0,80 b
P1	-	-	0,56 b B	0,86 a
P2	-	-	0,93 a	0,91 a

Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;

- A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

TABELA 18A. Teor de P nas raízes de braquiária, no primeiro cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em um latossolo previamente cultivado (C) ou não cultivado (NC).

Histórico	Concentração de P (g.kg ⁻¹)			
	P1		P2	
	NI	I	NI	I
Latossolo Roxo – tuftito				
NC	1,45 b By	2,48 a x	2,26 a x	2,44 a x
C	2,31 a x	1,82 a By	2,46 a x	2,83 a x

- Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;
- As letras a e b comparam o efeito da inoculação (na horizontal, dentro do mesmo nível de P e mesmo histórico);
 - As letras A e B comparam o efeito da aplicação de fósforo (na horizontal, dentro do mesmo histórico e mesmo nível de inoculação);
 - As letras x e y comparam o efeito do histórico (na vertical, dentro dos mesmos níveis de fósforo e inoculação)

TABELA 19A. Teor de P nas raízes de braquiária, no segundo cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrizicos (NI e I) em dois latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Concentração de P (g.kg ⁻¹)	
	LV	LRt
NC	0,78 a	1,45 b
C	0,75 a	2,08 a
P2	0,89 a	1,68 a
P1	0,63 b	1,85 a
I	0,78 a	1,73 a
NI	0,75 a	1,80 a

Obs: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;
a e b comparam médias adjacentes na vertical.

TABELA 20A. Teor de P nas raízes de braquiária, no segundo cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em um latossolo previamente cultivado (C) ou não cultivado (NC).

Tratamentos	Concentração de P (g.kg ⁻¹)			
	Aplicação de P		Inoculação	
	P1	P2	NI	I
Latossolo Amarelo				
NC	0,45 b B	0,75 b	0,55 b B	0,65 b
C	0,72 a B	0,85 a	0,77 a	0,80 a
P1	-	-	0,57 b	0,59 b
P2	-	-	0,74 a B	0,86 a

Obs: - Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;
 - A e B comparam médias na horizontal e, a e b, na vertical.

TABELA 21A. Teor de P nas raízes de braquiária, no segundo cultivo, em resposta à aplicação de P (P1 e P2) e inoculação com fungos micorrízicos (NI e I) em dois latossolos previamente cultivados (C) ou não cultivados (NC).

Tratamentos	Concentração de P (g.kg ⁻¹)	
	LV	LRt
NC	1,06 a	1,22 a
C	1,02 a	1,05 b
P2	1,14 a	1,22 a
P1	0,95 b	1,05 b
I	1,04 a	1,11 a
NI	1,05 a	1,16 a

Obs: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade;
a e b comparam médias adjacentes na vertical.

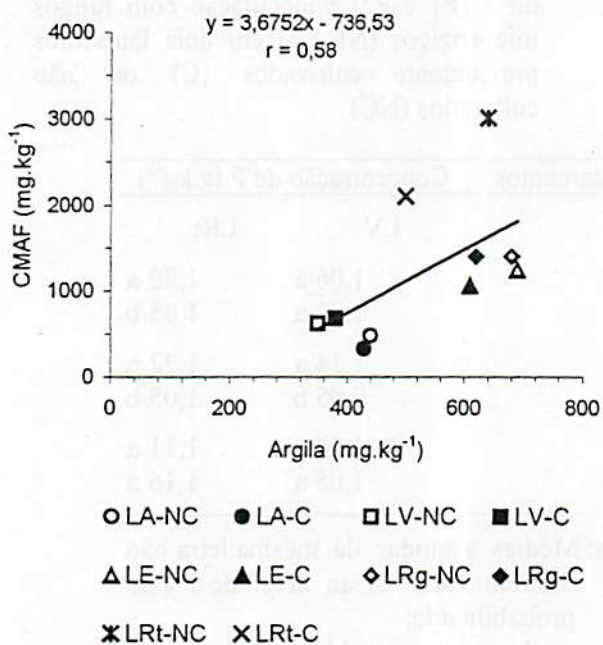


FIGURA 1B. Correlação entre teor de argila da TFSA e capacidade máxima de adsorção de fósforo dos solos estudados.