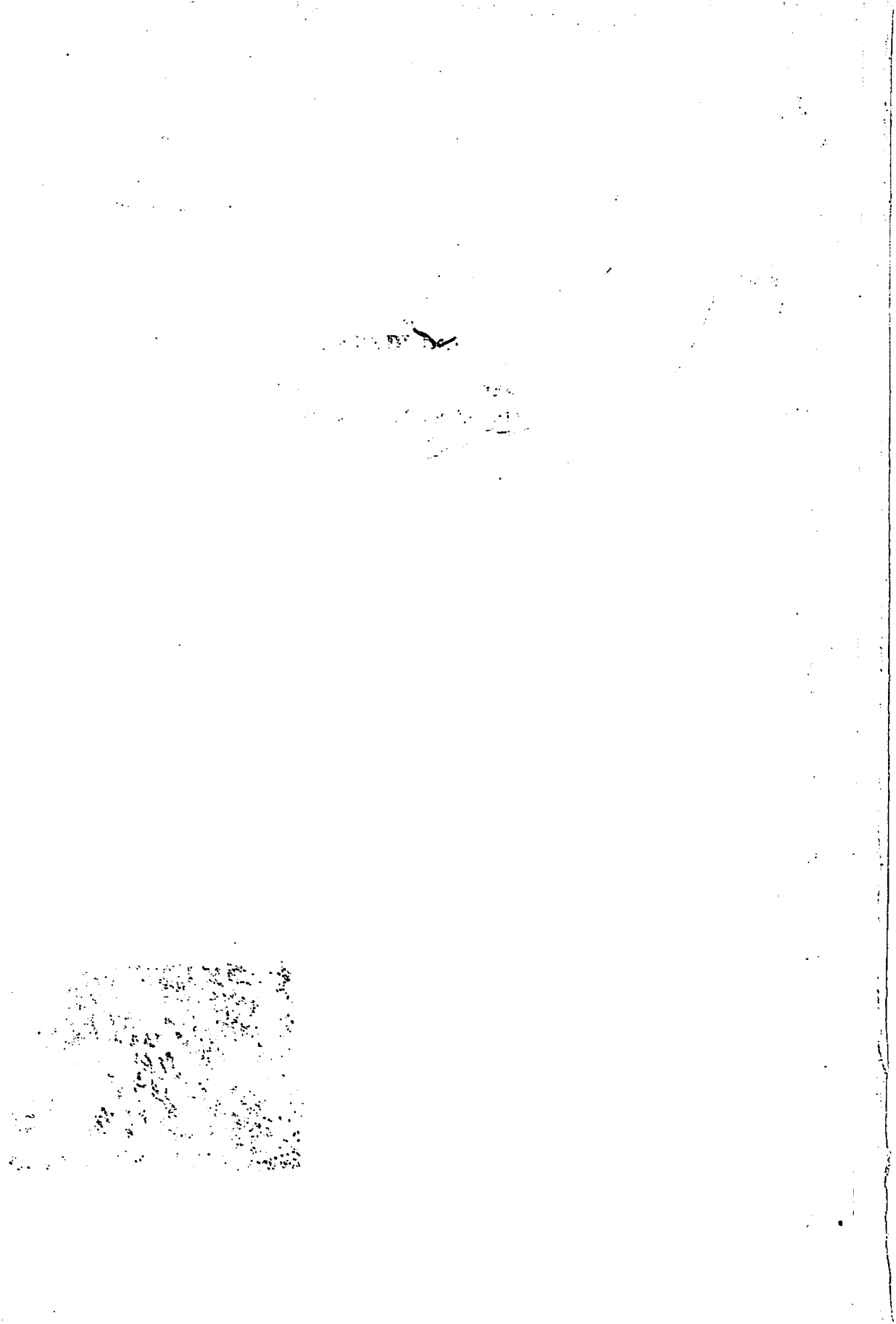




**ADIÇÃO DE FOSFATO E DE MICORRIZA NA  
ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM  
AMOSTRAS DE LATOSSOLOS CULTIVADOS  
E NÃO CULTIVADOS**

**JÚLIO CÉSAR AZEVEDO NÓBREGA**

**1999**



48099  
33717MFN

**JÚLIO CÉSAR AZEVEDO NÓBREGA**

**ADIÇÃO DE FOSFATO E DE MICORRIZA, E ESTABILIDADE DE  
AGREGADOS EM AMOSTRAS DE LATOSSOLOS CULTIVADOS E  
NÃO CULTIVADOS**

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

Orientador  
Prof. José Maria de Lima

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
1999

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

Nóbrega, Júlio César Azevedo

Adição de fosfato e de micorriza na estabilidade de agregados em amostras de Latossolos cultivados e não cultivados / Júlio César Azevedo Nóbrega. -- Lavras : UFLA, 1999.

64 p. : il.

Orientador: José Maria Lima.  
Dissertação (Mestrado) – UFLA.  
Bibliografia.

1. Latossolo. 2. Histórico de uso. 3. Fosfato. 4. Micorriza. 5. Estabilidade de agregado. 6. Braquiária. 7. Soja. 8. Matéria seca. 9. Índice de floculação de partícula. 10. Colonização micorrízica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título

CDD-631.422

**JÚLIO CÉSAR AZEVEDO NÓBREGA**

**ADIÇÃO DE FOSFATO E DE MICORRIZA, E ESTABILIDADE DE  
AGREGADOS EM AMOSTRAS DE LATOSSOLOS CULTIVADOS E  
NÃO CULTIVADOS**

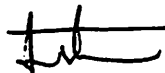
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição Mineral de Plantas, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 10 de setembro de 1999

Prof.: Nilton Curi UFLA

Prof.: José Oswaldo Siqueira UFLA

Prof.: Mozart Martins Ferreira UFLA



Prof.: José Maria de Lima  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

Aos meus pais Euclides e Maria de Lourdes e a todos os meus irmãos (Aparecida, José Euclides e Eugênia) pelo apoio, compreensão e amor a mim dedicado.

Aos meus sogros Antônio e Maria de Lourdes pelo incentivo, apoio e amizade.

## **OFEREÇO**

A Deus por tudo.  
À minha esposa Rafaela pelo amor e compreensão.

## **DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do Curso;

Ao professor José Maria de Lima pelos ensinamentos, orientação, incentivo, apoio e ajuda ao longo do Curso;

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo;

A todos os professores do Departamento de Ciência do Solo pelos conhecimentos transmitidos, especialmente os professores Nilton Curi e José Oswaldo Siqueira pela atenção dada em todos os momentos;

Ao pesquisador da EMBRAPA, Dr. Paulo Emílio Ferreira da Motta, pela cessão das amostras de solo, atenção e receptividade sempre que preciso;

Aos membros da Banca Examinadora, professores Nilton Curi, José Oswaldo Siqueira e Mozart Martins Ferreira, pelas críticas e sugestões apresentadas para o melhoramento deste trabalho;

A todos os funcionários do Departamento de Ciência do Solo, especialmente a Dulce Claret Monteiro Moraes e Manuel Aparecido da Silva pela ajuda na execução de parte das análises;

Aos graduandos Jonas Jacob Chiaradia, Sérgio Gualberto Martins, Antônio Marcos da Silva, Vitor Corrêa de Mattos Barretto e Rafaela Simão Abrahão pela ajuda na realização das análises e aos Doutorandos Marcos Aurélio Carolino de Sá e Rogério Melloni pelas críticas e sugestões sempre oportunas;

A todos os colegas e principalmente aos novos amigos do Departamento de Ciência do Solo pela amizade e agradável convivência durante o decorrer do curso e;

A todos os professores, funcionários e alunos do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará pelo aprendizado, convivência e laços de amizade criados, apesar da pouca convivência. A todos, muito obrigado!



## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE SÍMBOLOS.....	i
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	v
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	03
2.1 Considerações gerais sobre os solos.....	03
2.2 Formação e estabilidade dos agregados do solo.....	05
2.3 Retenção de fósforo pelo solo e sua influência na estabilidade dos agregados.....	09
2.4 Influência da vegetação e resíduos sobre a estabilidade dos agregados do solo.....	13
2.5 Influência das micorrizas sobre a absorção de fósforo e a estabilidade dos agregados no solo.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Coleta e caracterização dos solos.....	19
3.2 Preparo do solo e tratamentos.....	20
3.3 Ensaio com plantas em casa-de-vegetação.....	21
3.4 Análises laboratoriais.....	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1 Estabilidade dos agregados (DMG).....	25
4.2 Índice de floculação das argilas.....	29
4.3 Produção de matéria seca de raiz.....	32
4.4 Colonização micorrízica e comprimento total de hifas.....	36
4.5 Considerações finais.....	41
5 CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
ANEXOS.....	61

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem;
ATD	análise térmica diferencial;
C	cultivado;
C/N	relação Carbono/Nitrogênio;
Ct	caulinita;
CTC	capacidade de troca catiônica;
DCB	ditionito-citrato-bicarbonato;
DMG	diâmetro médio geométrico;
Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato;
Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> extraído pelo oxalato ácido de amônio;
G	grama;
Gb	gibbsita;
I	inoculado;
Kg	quilograma;
m	metro;
MAs	fungos micorrízicos arbusculares;
mg	miligrama;
mm	milímetro;
NC	não cultivado;
NI	não inoculado;
P0	5% da dose de fósforo para produção máxima do milho;
P1	50% da dose de fósforo para produção máxima do milho;
P-Al	fósforo ligado ao alumínio;
P-Ca	fósforo ligado ao cálcio;
PCZ	ponto de carga zero;
P-Fe	fósforo ligado ao ferro;
PH	logaritmo do inverso da atividade do íon hidrogênio de um solo;
Pi	fósforo inorgânico;
Po	fósforo orgânico;
PRNT	poder relativo de neutralização total;
S	soma de bases trocáveis;
V	% de saturação por bases.

## RESUMO

NÓBREGA, Júlio César Azevedo. Adição de fosfato e de micorriza, e estabilidade de agregados em amostras de latossolos cultivados e não cultivados. Lavras: UFLA, 1999. 64p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)<sup>1</sup>

Em solos brasileiros existe uma escassez de informações no que diz respeito a contribuição da microbiota do solo na formação e estabilização de agregados, embora sejam bastante conhecidos os efeitos de resíduos orgânicos e sistema radicular de plantas, principalmente as gramíneas, na melhoria da estrutura do solo. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do histórico de uso, níveis de fósforo, inoculação micorrízica e cultivo com braquiária e soja, em casa de vegetação, sobre o diâmetro médio geométrico dos agregados, o índice de floculação de partículas, a produção de matéria seca de raízes, a colonização micorrízica e o comprimento total de hifas, em material de Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Roxo. Amostras dos dois solos previamente cultivados por longos períodos e não cultivados foram trazidas para a casa de vegetação, submetidas a inoculação e dois níveis de fósforo e então cultivadas com braquiária e soja, em dois cultivos sucessivos. Os resultados mostraram que o solo previamente cultivado apresentou menor estabilidade de agregados (menor diâmetro médio de agregados e índice de floculação) e menor comprimento total de hifas. A inoculação promoveu efeito contrário, sendo este efeito condicionado ao nível de P do solo e histórico de uso. Não houve efeito de fósforo na dispersão de partículas que, ao contrário, promoveu, indiretamente, maior agregação, por propiciar maior comprimento total de hifas e matéria seca de raízes.

---

<sup>1</sup>Comitê Orientador: José Maria de Lima – UFLA (Orientador), Nilton Curi – UFLA e José Oswaldo Siqueira – UFLA

## ABSTRACT

**NÓBREGA, Júlio César Azevedo. Aggregate stability in two cropped and no cropped latosols as affected by phosphate addition and mycorrhiza. Lavras: UFLA, 1999. 64p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)<sup>1</sup>**

There is little information on the contribution of soil microorganisms on aggregate stability in Brazilian soils, although it is well known that crop residue and cropping, especially gramineae, can increase aggregate stability. This study attempted to evaluate the effect of earlier cropping, phosphate, inoculation, and brachiaria and soybean on the geometric mean diameter (GMD), particle flocculation index, root dry matter, and total hyphal length, in Dark- and Dusky-Red Latosol. Samples of both soils under crop and no crop condition were brought to the green house and received P fertilization and inoculation, and then, they were cultivated twice with brachiaria and soybean. The results showed that the soils that were previously cultivated had lower aggregate stability (lower GMD), and lower total hyphal length, whereas inoculation increased these parameters according to P level. There was no effect of P fertilization on particle dispersion. Oppositely, P had an indirect benefit on aggregate stability by increasing total hyphal length and root dry matter.

---

<sup>1</sup>Guidance Committee: José Maria de Lima – UFLA (Major Professor), Nilton Curi – UFLA and José Oswaldo Siqueira – UFLA

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil os latossolos ocorrem em cerca de dois terços do território nacional (56%), encontrando-se distribuídos nas mais diversas regiões do país, até mesmo, no domínio semi-árido do nordeste, ainda que em pequenas proporções (EMBRAPA, 1981). Normalmente são caracterizados como profundos, porosos, fortemente drenados, estrutura estável, elevada permeabilidade e, por conseguinte, resistentes à erosão, sendo estas características tão mais pronunciadas quanto mais oxidico for o solo.

A utilização agrícola dos latossolos é mais intensa em face da topografia mais adequada à mecanização. Embora mais resistentes à degradação física, estes vêm sofrendo degradação, principalmente com a destruição de agregados. Entre as conseqüências observadas, tem sido evidenciada diminuição no volume de macroporos, no tamanho dos agregados, na taxa de infiltração de água e aumento da densidade do solo (Souza e Cogo, 1978; Dalla Rosa, 1981; Machado, Souza e Brum, 1981; Reinert, Mutti, Zaco et al., 1984). Além desses aspectos, o endurecimento das camadas aráveis também ocorre a ponto de impedir a penetração de implementos mais pesados, como as grades aradoras (Carvalho, 1991) e emergência de plântulas. Entre os fatores que afetam a estrutura, estão os corretivos e fertilizantes. As reações destes no solo podem favorecer tanto a formação quanto a destruição dos agregados.

No caso específico do fósforo, a fixação ou retenção do fosfato pela superfície de minerais e/ou precipitação na forma de fosfato de baixa solubilidade com outros elementos presentes na solução do solo leva à necessidade de adubações pesadas. Quando o fosfato é aplicado em linha, a concentração pode tornar-se elevada o suficiente para saturar a superfície de adsorção das partículas.

Em função do tipo de carga predominante na superfície das partículas do solo, a adubação fosfatada pode contribuir tanto para aumentar como para diminuir a dispersão das mesmas, alterando a estabilidade dos agregados (Lima, 1995). A redução no tamanho de poros e diminuição da resistência do solo à compactação podem também ser conseqüências da adsorção de fosfato, conforme verificado por Silva, Lima e Dias Junior (1999).

A maior estabilidade de agregados do solo implica também em maior resistência à erosão, uma vez que agregados estáveis propiciam maior porosidade e tamanho de poros, favorecendo a distribuição e movimento de água, com reflexos diretos também no crescimento e desenvolvimento das plantas, na acessibilidade a alimento, água, oxigênio e nutrientes pela biota do solo (Oades, 1984; Elliot e Coleman, 1988).

Embora complexo, a literatura tem mostrado que o processo de agregação do solo é influenciado por uma série de fatores que envolvem a ação de componentes abióticos e bióticos. Entre os bióticos, as plantas, e dentro desse universo, as gramíneas, têm recebido atenção especial em face do grande efeito do sistema radicular na melhoria da agregação e estabilização dos agregados (Tisdall e Oades, 1979; Carpenedo e Mielniczuk, 1990; Paladini e Mielniczuk, 1991). A microbiota do solo, especialmente os organismos filamentosos, também podem, além de elevar a absorção de nutrientes pelas plantas, especialmente o fósforo, contribuir para o processo de agregação do solo devido, entre outros fatores, à maior exploração do volume de solo pelas hifas fúngicas que propiciam entrelaçamento das partículas do solo, mantendo e/ou aumentando a estabilidade de agregados (Siqueira, 1994). Neste sentido, partindo do pressuposto de que a adição de fósforo ao solo pode contribuir para dispersar as partículas do solo, com redução na estabilidade dos agregados, pode-se esperar que a inoculação de plantas com fungos micorrízicos, ao diminuir os níveis de fósforo no solo e promover maior agregação, pode

contribuir para minimizar esse efeito dispersante e/ou elevar a estabilidade dos agregados do solo.

Com base nos aspectos levantados, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação fosfatada e micorrizas sobre a estabilidade de agregados, índice de floculação de partículas, produção de matéria seca de raiz, colonização micorrízica e comprimento total de hifas em um Latossolo Vermelho-Escuro e um Latossolo Roxo cultivados e não cultivados por vários anos e plantados com braquiária e soja em casa-de-vegetação.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Considerações gerais sobre os solos**

Os latossolos encontram-se amplamente distribuídos pelo Brasil, ocupando cerca de dois terços da superfície do território nacional (EMBRAPA, 1981), ocorrendo praticamente em todas as regiões do país sob diferentes condições climáticas, relevo e material de origem e assumindo assim papel fundamental na produção agrícola (Ker, 1997).

A mineralogia da fração argila desses solos é dominada principalmente pela caulinita, gibbsita, goethita e hematita em diferentes proporções, refletindo o elevado grau de intemperismo dos mesmos (Rezende, 1980; Curi, 1983; Santana, 1984; Fontes, 1988). Segundo Ker (1995), é comum também a ocorrência de vermiculita com hidróxi entre camadas e, ainda que de forma menos expressiva, também a ocorrência de mica e de quartzo.

Em alguns solos como nos Latossolo Ferrífero, Roxo, Vermelho-Escuro, devido aos elevados teores de óxidos de ferro e alumínio, pode haver, nas camadas subsuperficiais, onde o teor de matéria orgânica é reduzido, o

predomínio das cargas positivas, ocasionando reduzidos valores de capacidade efetiva de troca de cátions. Esses solos, apresentando caráter ácido, têm comportamento bem diverso do restante por reterem muito pouco as bases (cálcio, magnésio, potássio) e adsorverem elevadas quantidades de fosfato e nitrato, fato que requer manejo mais específico.

Doses relativamente maiores de fósforo são geralmente mais aplicadas aos latossolos do que em outros solos. Isso é mais significativo para os solos que nunca receberam tal elemento, pois à medida que novas aplicações de fosfato são feitas, o solo atinge um ponto a partir do qual não há resposta a aplicações adicionais, passando, então, a liberá-lo paulatinamente (Oliveira, Jacomine e Camargo, 1992). Para se ter uma idéia da dimensão deste processo nesses solos, Hedley, Hussin e Bolan (1990) citam que mais de 80% do custo do fertilizante fosfatado, quando adicionado aos solos, são consumidos na fixação pelos constituintes mineralógicos de solos das regiões tropicais.

Em geral, pode-se dizer que os latossolos, do ponto de vista físico, apresentam características bastante favoráveis à exploração agrícola intensiva devido à elevada profundidade, porosidade, permeabilidade, baixa densidade do solo e resistência à penetração de raízes e, por conseguinte, baixa erodibilidade, sendo, portanto, menos susceptíveis a erosão do que a maioria dos outros solos com topografia e submetidos a sistemas de manejo semelhantes. No entanto, com as operações intensivas de preparo do solo e uso inadequado de fertilizantes e corretivos, inicia-se a degradação da estrutura do solo através da dispersão dos colóides, translocação de argila no perfil do solo e a maior susceptibilidade à compactação, fato que reflete negativamente sobre a produtividade das culturas (Carvalho, 1998).

Embora vários fatores tenham sido apontados e estudados como causadores dessa degradação física, poucos são os trabalhos relacionando o papel da adubação fosfatada nesse processo. Diante do exposto, um melhor



entendimento dos fatores que contribuem para a agregação, estabilização ou dispersão de partículas torna-se essencial nestes solos, notadamente naquelas situações em que o uso de micorrizas também se faz presente.

## **2.2 Formação e estabilidade dos agregados do solo**

O desenvolvimento dos agregados do solo resulta de um processo que envolve a interação de agentes ligantes e as partículas unitárias do solo (Mesquita, 1992). A formação de agregados tem relação direta com cargas e o comportamento da dupla camada elétrica ou difusa das partículas. De acordo com Grohmann (1972), a agregação se inicia pela floculação dos colóides do solo. Neste caso, o balanço das cargas elétricas é o principal fator que afeta a intensidade desse fenômeno.

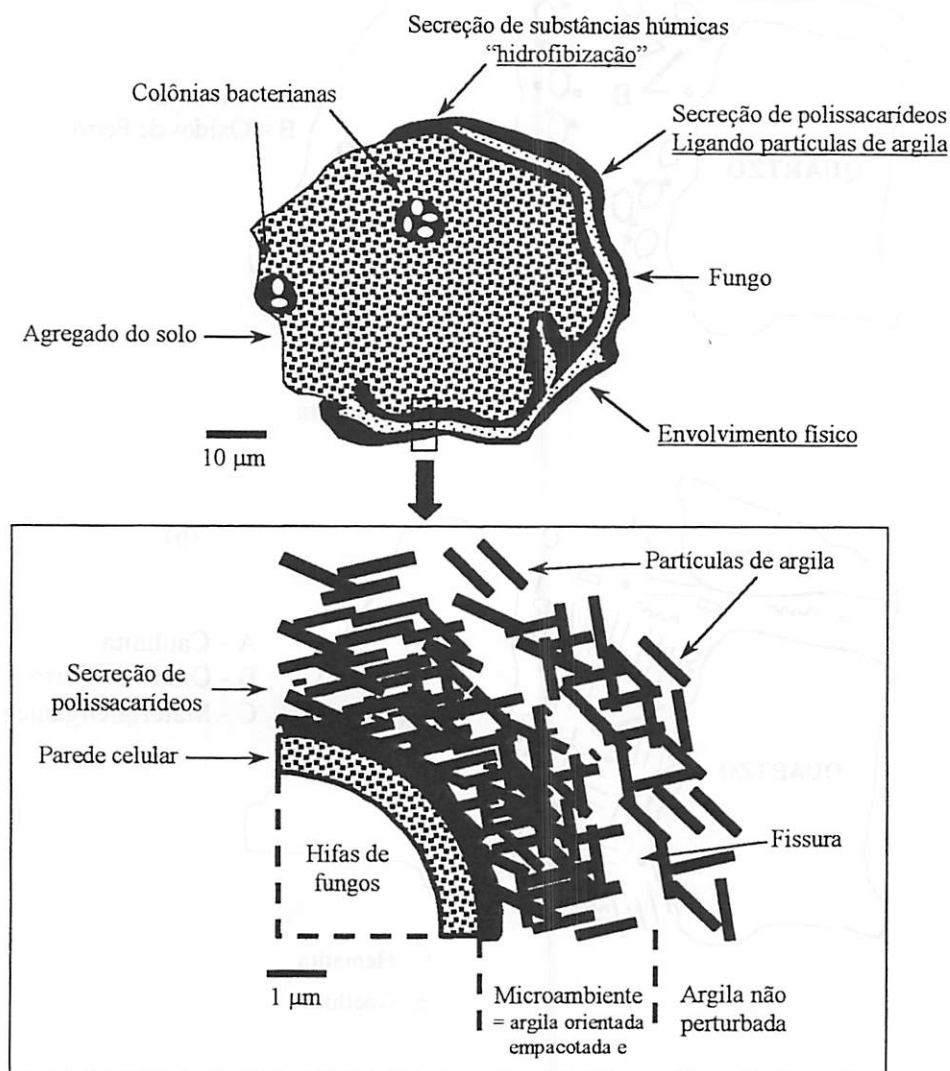
A dupla camada elétrica de cargas positivas e negativas, formada nas interfaces sólida e líquida no solo, tem sua espessura determinada pela valência e concentração de íons de sinais opostos àqueles da carga na superfície das partículas (Baver, Gardner e Gardner, 1972). Quanto maior a valência e concentração, maior a compressão da dupla camada, maior a proximidade entre partículas e maior a floculação das mesmas. Por outro lado, a baixa concentração eletrolítica e/ou reduzida valência dos contra-íons na solução do solo torna a dupla camada mais espessa e os colóides, conseqüentemente, mais dispersos. Embora a argila floculada seja um pré-requisito para a agregação, a floculação isoladamente não é suficiente para a formação e manutenção dos agregados. Assim segundo Grohmann (1972), torna-se necessário, além de argila floculada, a presença de agentes cimentantes que, atuando conjuntamente com a floculação, propiciem a formação e manutenção de agregados no solo. A matéria orgânica, compreendendo teor e tipo (Tisdall e Oades, 1982; Faccin, 1995), os silicatos e as argilas, combinados com determinados cátions no complexo de

troca do solo, formam os ingredientes básicos dos cimentos (Gavande, 1976). Além das substâncias agregantes, Silva e Mielniczuk (1997a) acrescentam outros agentes de agregação, representados pela variações climáticas, raízes e microrganismos.

Em geral, há várias proposições para explicar a união das partículas do solo em agregados estáveis em água. Para solos de regiões temperada e/ou onde a matéria orgânica possui atuação destacada, uma dessas proposições, certamente a mais difundida, é o modelo de agregação proposto por Emerson (1959) e, mais recentemente, o modelo de Tisdall e Oades (1982). Embora em ambos os modelos o papel da matéria orgânica como agente ligante seja bastante destacado, o segundo é bem mais complexo e hoje mais aceito. Segundo Jastrow, Miller e Lussenhop (1998), este último modelo ilustra melhor o grau de importância dos vários mecanismos envolvidos na agregação, que mudam à medida que as partículas primárias do solo são ligadas em agregados de tamanhos sucessivamente maiores. Neste caso, o desenvolvimento de microagregados (diâmetro < 0,25 mm) relaciona-se estreitamente a agentes ligantes orgânicos e inorgânicos relativamente persistentes; enquanto o desenvolvimento dos macroagregados (diâmetro > 0,25 mm – união de microagregados) relaciona-se, principalmente, com os mecanismos de emaranhamento físico pelas raízes e hifas de fungos micorrízicos. A figura 1 ilustra o processo de agregação mediado por organismos filamentosos.

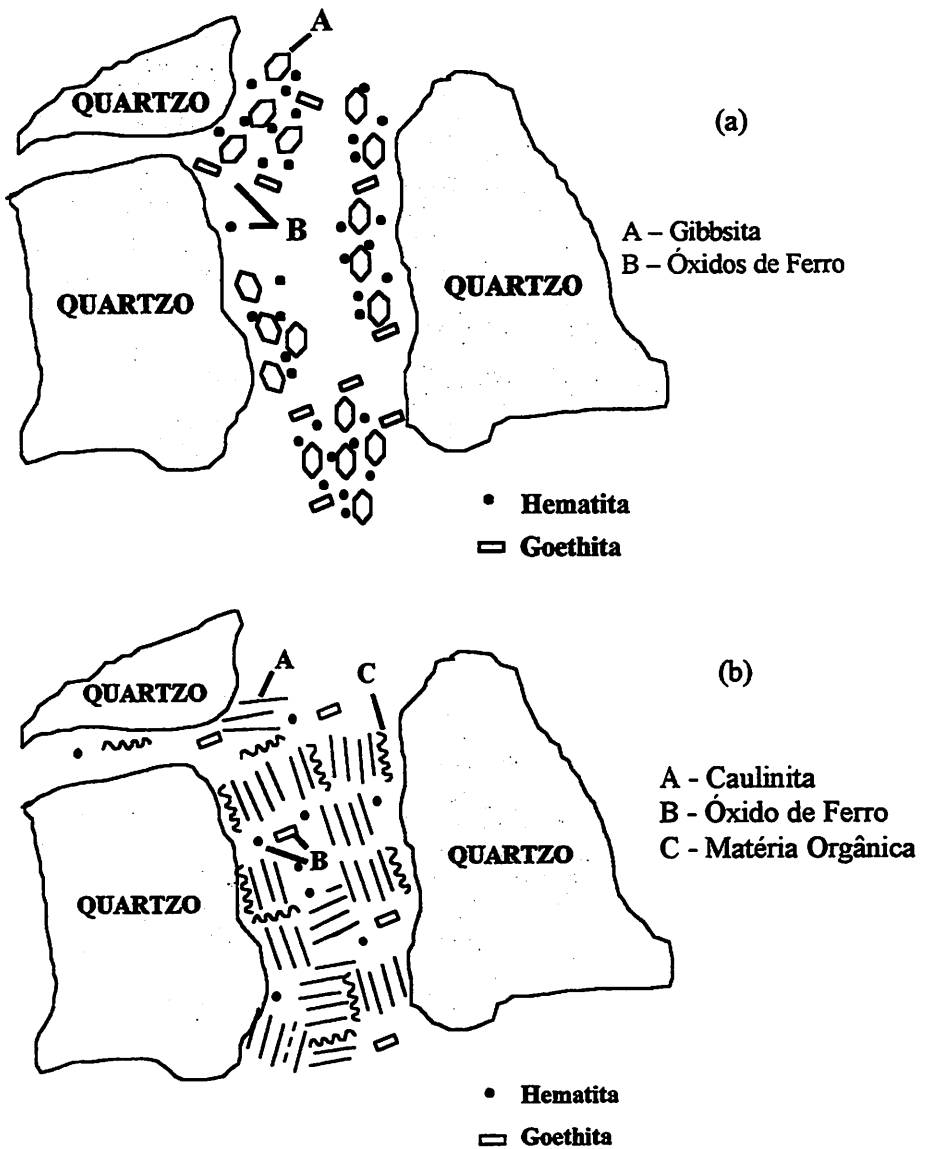
Para os solos de regiões tropicais, onde o conteúdo de matéria orgânica é geralmente baixo e, portanto, menos relevante comparados às regiões de clima temperado, outros modelos de agregação também têm sido propostos para explicar a agregação do solo, principalmente nos latossolos, como é o caso do modelo proposto por Resende (1982), que enfatiza os teores dos óxidos na agregação destes solos e os de Ferreira, Fernandes e Curi (1999), que ao considerarem o papel de cada um destes constituintes na agregação do solo,

propuseram dois modelos distintos para os latossolos brasileiros: um para os latossolos gibbsíticos e outro para os mais caulíníticos, conforme ilustrado na figura 2.



**FIGURA 1.** Agregação mediada por microrganismos: a) representação esquemática da ligação e estabilização de um agregado do solo pelo microrganismo; b) detalhe do microambiente na vizinhança do fungo.

Fonte: Chenu e Dorioz citados por Robert e Chenu (1992).



**FIGURA 2.** Modelo de agregação proposto por Ferreira, Fernandes e Curi (1999) para os latossolos gibbsíticos (a) e latossolo cauliniticos (b).

O papel dos microrganismos, dentro destes modelos propostos para os latossolos, não é mencionado. O uso de microrganismos, especialmente dos fungos micorrízicos, em sistemas de manejo pode, além do conhecido efeito na absorção de nutrientes, recuperar propriedades físicas de solos degradados, contribuindo para reestruturação destes solos, conforme já demonstrado para outras classes de solo.

### **2.3 Retenção de fósforo pelo solo e sua influência na estabilidade dos agregados**

O fósforo é um elemento que pode estar presente no solo em pelo menos três formas distintas: na solução (P-solução); precipitado ou adsorvido às partículas, porém em equilíbrio com o P-solução (P-lábil); precipitado, sob a forma de compostos de baixa solubilidade ou adsorvido com elevada energia, não estando, portanto, em equilíbrio imediato com o P-solução (P-não lábil) (Larsen, 1967). Uma outra forma de fósforo, que também pode ocorrer nos solos minerais, é o fósforo orgânico, cuja proporção pode variar de 20 a 80% do fósforo total (Vione, Kaminski, Rheinheimer et al., 1996). O fenômeno da fixação ou retenção de fósforo inclui tanto a adsorção específica deste elemento à superfície de minerais quanto sua precipitação na forma de fosfatos de baixa solubilidade, com outros cátions presentes na solução do solo. Este fenômeno é constatado mais frequentemente em solos ácidos, ricos em ferro e alumínio, como o caso dos latossolos oxidícos, ou em solos ricos em cálcio (Sanchez e Uehara, 1980), sendo, neste caso, a precipitação o principal responsável pela remoção de fósforo da solução do solo. Frossard, Brossard, Hedley et al. (1994) consideram que o tipo de óxido, bem como suas características intrínsecas, são tão importantes na adsorção de fósforo quanto a sua quantidade. Jones (1981) e Souza, Curi e Guedes (1991) verificaram que além da abundância do mineral, é

importante também a superfície específica do cristal, o que está diretamente ligado ao tamanho dos mesmos.

Quanto ao tipo de óxido de ferro, Bahia Filho, Braga, Resende et al. (1983) e Souza, Curi e Guedes (1991) afirmam que a goethita tem sido considerada como o principal componente da fração argila responsável pela adsorção de fosfato em solos do Brasil Central. Segundo Frossard, Brossard, Hedley et al. (1994), isso pode ser creditado a diferenças quanto à facilidade de acesso dos íons fosfato a grupos OH de superfície e/ou à maior área superficial específica da goethita em relação à hematita (Schwertmann e Herbillon, 1992). Sposito (1989) atribui a maior atividade de fósforo à goethita à maior rugosidade de superfície deste mineral. Doses relativamente mais elevadas de fosfato em solos com predominância desse mineral são necessárias para atingir níveis adequados ao desenvolvimento das plantas, notadamente no início da exploração agrícola (Bahia Filho, 1982).

McLaughlin, Ryden e Syers (1981) afirmam que a gibbsita tem uma participação importante na adsorção de fósforo, embora de forma menos efetiva que a goethita. No entanto, em razão da sua ocorrência em grandes quantidades em alguns latossolos argilosos brasileiros, sua contribuição, em termos de adsorção total, pode ultrapassar aquela de óxidos de ferro (Curi, Camargo, Guedes et al., 1988; Mesquita Filho e Torrent, 1993).

Vale destacar também que os diferentes sistemas de manejo a que o solo é submetido podem aumentar ou reduzir a fixação de fósforo, dependendo do grau de transformação e interação dos componentes adicionados pelo manejo e pela matriz do solo propriamente dita (Silva, Curi, Blancaneaux et al., 1997). Assim, adoção de sistemas de manejo que propiciem um incremento no teor de matéria orgânica, por exemplo, contribui para a redução da adsorção de fósforo através da formação de complexos que bloqueiam os sítios de adsorção à superfície dos óxidos de ferro e alumínio. Correlações negativas entre adsorção

máxima de fósforo e teores de matéria orgânica em solos sob cerrado foram encontradas por Mesquita Filho e Torrent (1993). Ainda com relação ao manejo do solo, a aplicação de corretivos com o objetivo de reduzir a retenção de fósforo tem sido também uma prática recomendada, baseando-se no fato de que estes, direta ou indiretamente, irão bloquear sítios de retenção (Smyth e Sanchez, 1980). Lopes (1983) e Goedert (1987) afirmam que em solos sob cerrado, a calagem constitui a primeira prática necessária ao cultivo de plantas não tolerantes à acidez do solo, pois além de provocar mudanças no pH, cálcio, magnésio, alumínio e aumentar a atividade biológica e eficiência dos fertilizantes, essa prática contribui também para: i) aumentar as cargas dependentes do pH, e conseqüentemente a CTC; ii) diminuir a capacidade de adsorção de fósforo e; iii) induzir, dependendo da quantidade e profundidade de incorporação, um maior desenvolvimento do sistema radicular em profundidade.

O efeito da calagem sobre o aumento na disponibilidade do fósforo tem sido demonstrado por vários pesquisadores, no entanto esse benefício depende da condição inicial de pH em que o solo se encontra. Em solos com alto teor de alumínio, a adsorção de fósforo tem sido reduzida com o aumento do pH pela calagem (White e Taylor, 1977). Este efeito benéfico da calagem é, de acordo com Lyndsay (1979), devido à maior hidrólise de fosfato de ferro e alumínio no solo que se tornam mais solúveis, ou devido à menor adsorção de fósforo pelas formas Fe-OH e Al-OH com o aumento do pH do solo. Por outro lado, em solos com pH original entre 5 e 6, ou seja, próximo da neutralidade, a calagem tem causado um efeito adverso na disponibilidade de fósforo (Farina, Sumner, Plank et al., 1980; Rhue e Hensel, 1983) devido às reações entre o fósforo e cálcio, formando precipitados de fosfato de cálcio de baixa disponibilidade (Haynes, 1982; Adams e Odon, 1985) e a formação de superfícies recém precipitadas de Fe-OH e Al-OH, com alto poder de adsorção de fósforo, desenvolvidas com a calagem, anterior à aplicação de fósforo (Sims e Ellis, 1983). De acordo com

Haynes e Ludeck (1981), existe uma estreita relação entre a precipitação do alumínio trocável pela calagem, levando à formação de Al-OH amorfo e o aumento da adsorção de fósforo no solo.

Embora os agregados ocorram naturalmente, encontram-se, na literatura, referências segundo as quais a aplicação de adubos e corretivos no solo pode contribuir tanto para a formação quanto para a destruição dos mesmos. A adsorção específica de íons, que formam complexos estáveis com os grupos funcionais na superfície das partículas, afeta o balanço de cargas no solo (Hingston, Posner e Quirk, 1972; Raji e Peech, 1972; Wann e Uehara, 1978; Stumm, 1992). Esse efeito altera atributos físico-químicos relacionados à dispersão da argila, tais como: encrostamento superficial, agregação, porosidade, lixiviação e retenção de nutrientes e contaminantes do solo. Segundo Fassbender e Bornemisza (1994), em vários solos do Hawaí tem sido observada correlação negativa significativa entre a quantidade de fósforo aplicada e o valor do PCZ dos solos (valor de pH onde o balanço de cargas é zero). Evidentemente, o valor do PCZ é uma importante propriedade a ser considerada no manejo do solo de carga variável uma vez que a diferença deste e o pH do solo indica tipo e quantidade de cargas predominante na superfície das partículas.

No caso específico do fósforo, em solos com carga líquida positiva sua adsorção aumenta a quantidade de carga negativa, diminuindo o excedente de carga positiva, aumentando a atração eletrostática entre as partículas, e conseqüentemente diminuindo a dispersão (aumento da floculação) até o ponto em que esse balanço é zero (máxima floculação). A partir desse ponto, a adsorção de fósforo aumenta a quantidade de argila dispersa (Lima, 1995), aumentando a desagregação e conseqüentemente as possíveis perdas de solo por erosão. Estudando o efeito da adsorção de fósforo em parâmetros físicos e na compressibilidade de solos da micro-região dos Campos da Mantiqueira, Silva, Lima e Dias Junior (1999) verificaram que a adsorção de fosfato causou redução



no volume de macroporos, aumento no volume de microporos e redução na resistência do solo à compactação, em amostras indeformadas de latossolo e Cambissolo com e sem fósforo.

Efeitos indiretos da aplicação de fósforo sobre a estabilidade de agregados no solo também foram demonstrados por Myers e Thin (1991), que estudaram o efeito de alguns fertilizantes nitrogenados e fosfatados sobre a decomposição da matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, sobre a estabilidade de agregados no solo. Os autores verificaram que os tratamentos com hidróxido de amônio e fósforo proporcionaram entre 0,1 e 4,8% de decomposição da matéria orgânica total do solo. Esse aumento foi altamente correlacionado com decréscimos na taxa de infiltração ( $R^2 = 0,78-0,98$ ) causados pela dispersão das partículas e diminuição da permeabilidade na zona de aplicação do produto.

#### **2.4 Influência da vegetação e resíduos sobre a estabilidade dos agregados do solo**

A vegetação e seus resíduos exercem uma ação protetora contra a desagregação do solo pela chuva (Carpenedo e Mielniczuk, 1990) por aumentarem a formação e estabilidade dos agregados (Oades, 1993). Dentro desse contexto, as gramíneas perenes têm trazido maiores benefícios à agregação e estabilização dos agregados do solo (Tisdall e Oades, 1979; Tisdall e Oades, 1982; Carpenedo e Mielniczuk, 1990; Paladini e Mielniczuk, 1991). Esses efeitos benéficos são atribuídos, principalmente, à alta densidade de raízes, que promove: i) aproximação de partículas pela constante absorção de água; ii) periódicas renovações do sistema radicular e iii) distribuição dos exsudatos no solo, que estimulam a atividade microbiana, cujos subprodutos atuam na formação e estabilização dos agregados (Silva e Mielniczuk, 1997a). Destaca-se,

também, o envolvimento físico dos microagregados pelas raízes (Tisdall e Oades, 1979; Lynch e Bragg, 1985).

Estudando variações de propriedades físicas do solo em função da quantidade e relação C/N de resíduos de algodão em decomposição, Hadas, Rawitz, Etkin et al. (1994) observaram um efeito imediato no aumento do diâmetro médio geométrico e na força tencil dos agregados com a adição de resíduos de alta relação C:N. Esse efeito, atribuído ao reforço externo de hifas de fungos, persistiu por um curto período, de 1 a 3 semanas. Por outro lado, grandes quantidades de resíduos com uma relação C:N moderada podem ajudar a estabilizar a estrutura do solo por períodos mais longos, sendo, neste caso, o efeito agregante atribuído ao reforço interno dos agregados pelas secreções bacterianas. Indícios de que os compostos orgânicos e a ação microbiana atuam na estabilidade de agregados foram constatados por Campos, Reinert, Nicolodi et al. (1995) ao encontrarem alta correlação entre o conteúdo de carbono orgânico e a atividade microbiana com o diâmetro médio geométrico dos agregados. Por outro lado, sabe-se também que os diferentes sistemas de manejo exercem seus efeitos na formação e estabilização dos agregados de forma diferenciada, dependendo do tipo de cultura e preparo do solo (Silva e Mielniczuk, 1997b; Haynes, Swift e Stephen, 1991). Estes efeitos estão mais relacionados a mudanças nos constituintes orgânicos do que ao conteúdo total de matéria orgânica (Baldock, Kay e Schnitzer, 1987; Haynes e Swift, 1990). No entanto, o que muitos trabalhos mostram é uma correlação entre o conteúdo de carbono orgânico no solo e a estabilidade dos agregados em água (Tisdall e Oades, 1982). Na realidade, o que ocorre no campo é que a influência da matéria orgânica na agregação do solo é um processo dinâmico, ou seja, à medida que se adiciona material orgânico ao solo, a atividade microbiana é intensificada, resultando em produtos (agentes cimentantes) que proporcionam a formação e estabilização dos agregados (Campos, Reinert, Nicolodi et al., 1995).

De acordo com Ros, Secco, Fiorin et al. (1997), a utilização de sistema de manejo com menor revolvimento do solo e que proporciona acúmulo de resíduos culturais na superfície, em áreas anteriormente degradadas pelo preparo inadequado do solo, propicia a recuperação das características físicas do solo. Um exemplo é o emprego de sistemas de plantio direto que têm reduzido perdas por erosão, aumentando a taxa de infiltração de água, o diâmetro dos agregados, a atividade microbiana e a produtividade das culturas (Campos, Reinert, Nicolodi et al., 1995; Ruedell, 1995). Neste sistema, a menor perda por erosão se deve, segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), à quase eliminação das operações de preparo e cultivo do solo, evitando quebra mecânica dos agregados e à manutenção da cobertura formada por resíduos vegetais que protegem o solo do impacto direto das gotas de chuva, aspectos muito diferentes do encontrado, por exemplo, no sistema convencional, e mais próximos à situação de vegetação natural.

## **2.5 Influência das micorrizas sobre a absorção de fósforo e a estabilidade dos agregados no solo**

Vários trabalhos têm mostrado a eficiência das micorrizas arbusculares em aumentar a absorção de fósforo e outros nutrientes pela planta. De acordo com Siqueira (1994), esse aumento na absorção de nutrientes é muito complexo e resulta de mecanismos físicos, fisiológicos e microbiológicos, destacando-se: i) aumento na superfície de absorção e exploração do solo; ii) aumento na capacidade de absorção da raiz; iii) modificações morfológicas e fisiológicas adicionais na planta; espaciais e temporais nas raízes micorrizadas em relação às sem micorrizas; iv) absorção de nutrientes disponíveis, não acessíveis às raízes não micorrizadas diretamente pelas hifas, ou indiretamente através de favorecimento no desenvolvimento de raízes; v) utilização de formas não

disponíveis para as raízes não micorrizadas através da solubilização e mineralização, no caso das ectomicorrizas, e de modificações na dinâmica do equilíbrio do nutriente entre a fase sólida e líquida do solo, no caso das micorrizas arbusculares; vi) armazenagem temporária de nutrientes na biomassa fúngica ou nas raízes, evitando sua imobilização química ou biológica e lixiviação; vii) favorecimento de microrganismos mineralizadores e solubilizadores de nutrientes e diazotróficos na micorrizosfera e; viii) amenização dos efeitos adversos do pH, alumínio, manganês, metais pesados, salinidade, estresse hídrico e ataque de patógenos do sistema radicular sobre a absorção de nutrientes.

Ao estudar o efeito das micorrizas arbusculares no crescimento e utilização do fósforo do solo pela braquiária e estilosantes, Alves (1988) observou que ambas foram capazes de absorver o fósforo fixado ou retido no solo, quando inoculados com fungos MAs. O fracionamento das formas de fósforo no solo, após o cultivo dessas plantas, revelou menores quantidades de  $Al-PO_4$  e  $Fe-PO_4$  nos tratamentos com MAs, indicando a capacidade das plantas micorrizadas de retirar o fósforo adsorvido. De acordo com Siqueira (1994), este fato é de grande interesse para a produção agrícola nos trópicos, onde os solos, notadamente os latossolos, apresentam elevada capacidade de retenção de fosfatos.

O efeito das micorrizas na agregação do solo também tem sido destacado e recebido maior atenção por parte de alguns pesquisadores, principalmente após a crescente busca por uma agricultura mais sustentável e restauração de ecossistemas (Dodd, 1994). Segundo Molope, Grieve e Page (1987), isso acontece em face de ser a estabilidade dos agregados do solo dependente da atividade biológica dos microrganismos do solo, que a curto prazo provoca uma melhoria na estabilidade dos agregados.

Ao discutirem o papel do fungo micorrízico na conservação do solo, Miller e Jastrow (1992) agruparam as contribuições dos fungos micorrízicos arbusculares (MAs) na formação dos agregados do solo em três processos que ocorrem simultaneamente: i) crescimento externo da hifa micorrízica na matriz do solo, criando uma armação para estrutura que mantém juntas as partículas primárias do solo via emaranhamento físico; ii) criação, pelas hifas externas e raízes, de condições para a formação de microagregados e iii) emaranhamento dos microagregados em macroagregados pelas raízes e hifas externas, criando estruturas de tamanhos maiores. Dorioz, Robert e Chenu (1993) também enumeraram três principais efeitos de fungos filamentosos sobre a agregação do solo sob diferentes umidades: i) a orientação de partículas de argila ao redor das células; ii) secreções de polissacarídeos, que induziram ligações locais de partículas de argilas e iii) efeito de empacotamento pelas hifas, que conduziu a uma nova microestrutura de partículas nas adjacências da célula.

Andrade, Mihara, Linderman et al. (1998), estudando o efeito das micorrizas e grupos de microrganismos sobre a estabilidade de agregados em água de um solo argilo-arenoso misturado com areia grossa (1:1 v:v), observaram diferenças significativas sobre a estabilidade de agregados entre os solos estudados. Os agregados foram mais estáveis na seguinte ordem: micorrizosfera do solo > rizosfera do solo > hifosfera do solo > volume do solo livre de raízes e fungos. Os resultados sugerem que as raízes e componentes fúngicos das micorrizas aumentam a estabilidade dos agregados em água, embora o número de unidades de colônias em formação da microflora (bactéria total, actinomicetos, anaeróbios, solubilizadores de fósforo e fungos não micorrízicos) não tenha mostrado correlação com comprimento de raízes ou de hifas em alguns casos este número foi significativamente correlacionado com estabilidade de agregados em água. Bactérias total e solubilizadoras de fósforo tenderam a ser maiores na fração de solo agregado do que em solo desagregado,

sendo significativamente maior somente na fração agregada do solo micorrizosférico. Segundo os autores, esse aumento no número de bactérias com a maior estabilidade dos agregados foi interpretado como um efeito indireto das micorrizas sobre a população microbiana do solo, mediada pela criação de um espaço de poros habitável para as bactérias. Isso sugere que condições de crescimento favoráveis para micróbios no solo podem aumentar a sobrevivência de bactérias introduzidas com propostas específicas como fixação de N<sub>2</sub>, controle de patógenos, promoção do crescimento de plantas ou estabilização do solo.

De acordo com Tisdall (1994), as hifas formam uma rede que atinge até 50 m de hifas por grama de agregados estáveis, contribuindo de modo significativo para a estabilização dos mesmos. Em estudos realizados na Austrália, o autor encontrou estreita relação entre o cultivo, o comprimento total da hifa e a proporção de agregados estáveis. No estudo, o autor observou que nos solos cultivados ou em pousio continham menos de 5 m hifa g<sup>-1</sup> de solo e menos de 5% de agregados estáveis, enquanto no solo virgem havia em torno de 17 m de hifa e 24% de agregados estáveis. Correlações positivas entre quantidade de hifa produzida no solo e produção de agregados estáveis em água têm sido encontradas em alguns trabalhos como os de Tisdall e Oades (1979) e Andrade, Mihara, Linderman et al. (1998), que sugerem que o micélio extraradicular pode fornecer a estrutura inicial para agregação do solo, enquanto que os polissacarídeos de bactérias atuam como um agente cimentante (Sylvia, 1990), mais responsável pela manutenção e estabilidade dos agregados formados.

Em geral, todos os aspectos discutidos aqui sobre os fatores que afetam a agregação do solo concordam com a visão hierarquizada do modelo de agregação do solo proposto por Tisdall e Oades (1982) de que os mecanismos envolvidos no processo de agregação do solo mudam de importância à medida

que as partículas primárias do solo são ligadas em agregados de tamanho sucessivamente maiores. Neste sentido, como os microagregados são estabilizados por agentes orgânicos (polissacarídeos, exsudatos de plantas, fungos, etc.) e inorgânicos, como aluminossilicatos e óxidos de ferro, que têm seu balanço de cargas na superfície das partículas afetada pela adição de fosfato, é provável que a inoculação de plantas com fungos micorrízicos pode atenuar o efeito dispersivo do fósforo no solo levantada no início dessa discussão. Essa atenuação ocorreria devido aos seguintes aspectos: i) aumento da capacidade de absorção de fósforo pela planta, o que reduziria os níveis deste nutriente na solução do solo e, com isto, o seu efeito sobre o balanço de cargas na superfície das partículas; ii) aumento de exsudatos no solo, que induziria ligações locais de partículas de argila e, iii) aumento no comprimento total de hifas, que aumentaria o emaranhamento dos microagregados em macroagregados.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Coleta e caracterização dos solos**

Para o estudo foram selecionados dois latossolos brasileiros com variação nas proporções de hematita, goethita, caulinita, gibbsita e condição inicial de fósforo. Ambos os solos foram coletados numa profundidade de 0-20 cm, sob condição de vegetação natural e sob cultivo por longo período de tempo com uso de calagem e adubação fosfatada periódica, sendo mantida uma distância máxima de 200 m entre os pontos de coleta dentro de cada classe de solo. O Latossolo Vermelho-Escuro textura muito argilosa foi formado a partir de sedimentos do terciário. Amostras compostas (cerca de 150 kg de solo) foram coletadas na Estação Experimental da CIBA, município de Uberlândia. A área

tem como vegetação original o cerrado tropical subcaducifólio. A área cultivada apresentava, na ocasião da amostragem, 10 anos de cultivo, com culturas anuais com uso de adubação fosfatada pesada e calagem, quando necessário. O Latossolo Roxo de tufito, textura argilosa, foi coletado na região de Patos de Minas, tendo como vegetação original floresta tropical subcaducifólia. A área cultivada apresentava, até a ocasião da coleta, mais de quinze anos com lavouras anuais, principalmente o milho, e à cerca de cinco anos precedentes à amostragem vem sendo mantida coberta com capim braquiária (*Brachiaria decumbens*).

### 3.2 Preparo do solo e tratamentos

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 5 mm de malha. Subamostras desse material foram passadas em peneiras com malha de 2 mm e utilizadas nas caracterizações física, química e mineralógica. Em cada solo, foi fornecido calcário na quantidade indicada para elevar o valor da saturação por bases a 60%, utilizando-se, para isso, calcário dolomítico com relação Ca:Mg de aproximadamente 4:1 e PRNT próximo de 100%. Após a calagem foi feita uma adubação básica, tendo as doses de fósforo constituído tratamento. Neste caso, metade das amostras receberam fosfato no nível de 5% da dose necessária para a produção máxima e a outra metade recebeu 50% da dose requerida para a produção máxima do milho (Cargill 808), definidas com base em ensaio preliminar em casa-de-vegetação por Motta (1999). As quantidades mínima ( $P_0$ ) e máxima ( $P_1$ ) aplicadas de fósforo no Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo foram respectivamente: 20 e 200 e; 30 e 300 ppm de fósforo. Nos vasos destinados ao cultivo de braquiária, foram também aplicados N equivalente a 80 mg kg<sup>-1</sup>. Além da adubação básica, na qual o potássio e o enxofre foram fornecidos nas concentrações de 80 e 35



mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, todos os vasos receberam micronutrientes de maneira a atingirem as seguintes concentrações no solo em mg kg<sup>-1</sup>: boro 0,8; ferro 3,0; cobre 1,5; manganês 3,6; zinco 5,0 e molibdênio 0,15; sendo as adubações básica e de micronutrientes feitas após a calagem. Com exceção do calcário dolomítico e do CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O, fornecidos nas formas de pó, os demais nutrientes foram aplicados na forma de solução nutritiva e misturados aos solos, objetivando uma melhor uniformização. Posteriormente os solos foram incubados por um período de 45 dias, mantendo-se a umidade em torno de 60% do volume total de poros. Após o período de incubação, o solo foi fumigado com brometo de metila. Decorrido o período necessário para ventilação do material, a inoculação nos tratamentos que incluíam o *Glomus etunicatum* foi feita adicionando-se 1 mL da suspensão de esporos, obtida pelo método de Gerdermann e Nicolson (1963), sendo o volume e concentração ajustados para aplicação de 300 esporos por vaso.

Os tratamentos foram dispostos num delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 2 x 2, correspondendo a duas condições de uso anterior do solo (cultivado e não cultivado), duas de doses de P (P<sub>0</sub> e P<sub>1</sub>) e duas condições biológicas: (presença e ausência de *Glomus etunicatum*) na braquiária e soja em 4 repetições, totalizando 320 vasos.

### 3.3 Ensaios com plantas em casa-de-vegetação

Foram realizados dois cultivos sucessivos com braquiária (*Brachiaria decumbens*) e soja (*Glycine max*), variedade CAC-1, em vasos com capacidade para 4 kg de solo. Para a braquiária, foram utilizadas cerca de 10 sementes por vaso e, para soja, 4 sementes, sendo mantidas, após o desbaste, 2 plantas por vaso. Antes do plantio, as sementes de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* procedente do CNPAB-EMBRAPA. Após o plantio

foi feita a recomposição parcial da microbiota do solo, via inoculação com extrato filtrado, obtido a partir do próprio solo anterior a fumigação. Durante o cultivo, a umidade foi mantida na capacidade de campo. Ao final de cada cultivo, 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. As raízes, antes de serem levadas para estufa, foram lavadas e amostradas para avaliação da colonização micorrízica pelo método de interseção em placas reticuladas (Giovanette e Mosse, 1980).

Após o segundo cultivo, o solo contido em cada vaso foi seco ao ar e, em seguida, passado em peneiras de malhas de 4,76 e 2,00 mm. Os agregados na faixa de 2,00-4,76 mm foram utilizados para determinação da estabilidade dos agregados e diâmetro médio geométrico, para cada tratamento, por peneiramento úmido, segundo Kemper e Rosenau (1986). Neste sentido, as avaliações experimentais neste trabalho envolveram, após o segundo cultivo, a produção de matéria seca de raiz e colonização micorrízica na braquiária e soja. Foram avaliados, nos agregados na faixa de 2,00-4,76 mm, a estabilidade dos agregados e o comprimento total de hifas por massa de agregado, segundo Melloni (1996). O solo passado na peneira de 2,00 mm foi utilizado para determinação do índice de floculação da argilas, conforme EMBRAPA (1997).

### **3.4 Análises laboratoriais**

A análise granulométrica foi realizada segundo Day (1965); o índice de floculação segundo EMBRAPA (1997) e a densidade de partículas segundo Blake e Hartge (1986).

O complexo sortivo, pH em água, fósforo disponível, carbono orgânico e óxidos extraídos pelo ataque sulfúrico ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) foram determinados segundo Vettori (1969) e EMBRAPA (1997). A capacidade

máxima de adsorção de fósforo foi determinada segundo procedimento de Olsen e Watanabe (1957). Para a determinação das diferentes formas de fósforo no solo foram usadas as metodologias de Chang e Jackson (1975) e Hedley, Steward, Chauhan, (1982). Na primeira, o fósforo foi fracionado em: fósforo ligado ao alumínio (P-Al), ao ferro (P-Fe) e ao cálcio (P-Ca), e na segunda em: 1) formas lábeis de fósforo, que compreendem o fósforo disponível (P-resina), o fósforo adsorvido à superfície dos colóides [(Pi + Po) - NaHCO<sub>3</sub>/ CH<sub>3</sub>Cl] e o fósforo microbiano [(Pi + Po) - NaHCO<sub>3</sub>/ CH<sub>3</sub>Cl]; 2) formas pouco lábeis, compreendendo o fósforo inorgânico ligado ao ferro e alumínio e o fósforo orgânico ligado a compostos húmicos [(Pi + Po) - NaOH] e; 3) formas não lábeis, que incluem o fósforo ligado ao Ca (P-HCl), considerado relativamente insolúvel, e as formas mais estáveis de Po e Pi (P-residual), determinadas após digestão com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

A composição mineralógica da fração argila foi determinada por difração de raios-X (DRX) utilizando-se lâminas de sedimentação. Após a concentração dos óxidos de ferro na fração argila, o material resultante foi também submetido à difração de raios-X para a identificação e caracterização dos óxidos de ferro (Kämpf e Schwertmann, 1982).

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

Nas tabelas 1 e 2 são mostrados, respectivamente, os resultados de caracterização, química e mineralógica dos solos estudados. Nas tabelas 1A e 2A estão os resultados obtidos do fracionamento do fósforo pelos métodos de Chang e Jackson (1975) e Hedley, Steward, Chauhan, (1982).

**TABELA 1.** Características químicas do Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo.

SOLO	pH	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P	S	t	T	V	m	C
		—cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> —			mg dm <sup>-3</sup>		— cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> —			—%—		g kg <sup>-1</sup>
LE NC	4,9	0,9	1,2	0,1	36	7	1,4	2,3	11,2	13	39	26,4
LE C	5,8	0,0	3,7	0,2	59	48	4,1	4,1	7,0	58	0	19,1
LR	4,9	0,8	2,3	0,9	64	91	3,4	4,2	15,7	21	19	49,5
LR C	5,2	0,2	2,2	1,1	166	57	3,7	3,9	10,7	35	5	31,9

**TABELA 2.** Características químicas e mineralógicas do Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo.

Solo	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Ct	Gb	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	$\frac{Gt}{(Gt+Hm)}$	$\frac{Ct}{(Ct+Gb)}$
	g kg <sup>-1</sup>						
LE NC	2,4	55,2	230	270	0,04	0,17	0,46
LE C	2,1	61,0	190	110	0,03	0,14	0,63
LR NC	5,3	121,1	0	260	0,04	0,09	0,00
LR C	5,1	117,4	0	300	0,04	0,12	0,00

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

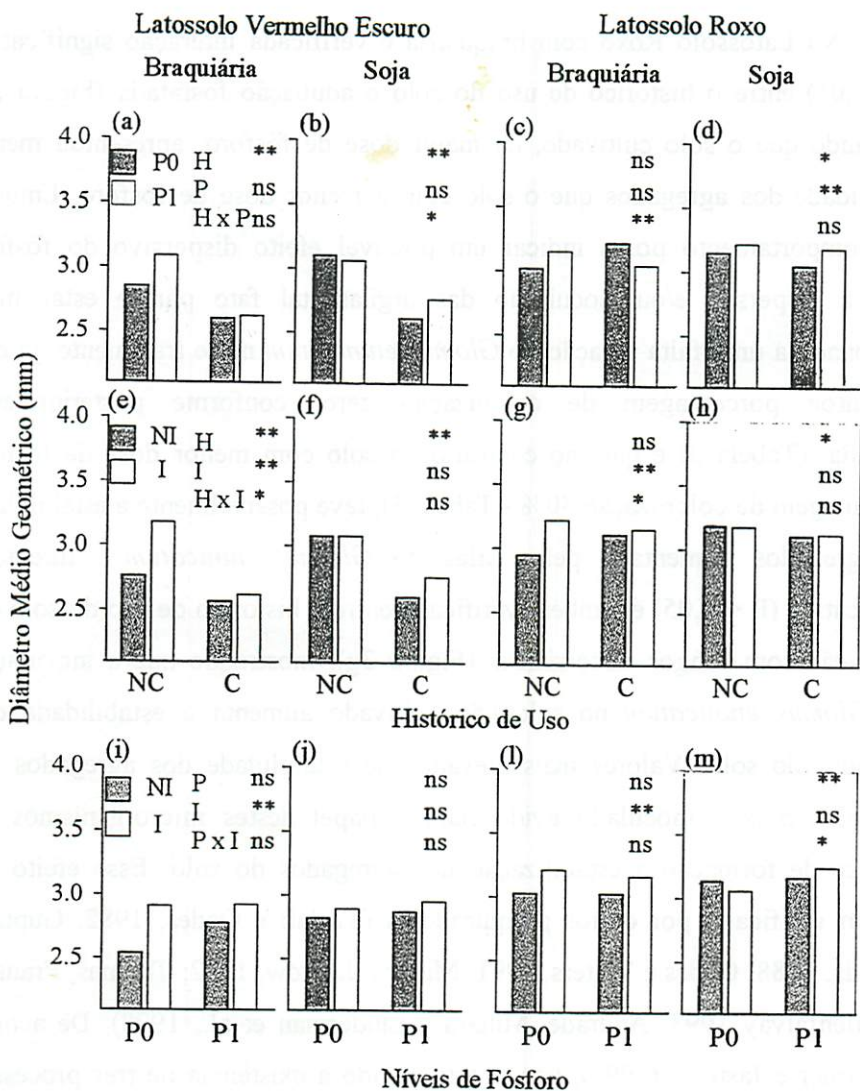
### 4.1 Estabilidade dos agregados (DMG)

Na figura 3 são apresentados os efeitos do histórico de uso, adubação fosfatada e inoculação sobre a estabilidade dos agregados em água para o Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo após o crescimento da braquiária e soja em casa-de-vegetação. Os resultados são apresentados de forma a verificar, nas interações duplas, os seguintes efeitos: doses de fósforo dentro de cada histórico de uso (Figuras a, b, c e d); inoculação dentro de cada histórico (Figuras e, f, g e h) e inoculação dentro de cada dose de fósforo (Figuras i, j, l e m). Embora tenha sido observado efeito de interação tripla para as variáveis estabilidade dos agregados em água e comprimento total de hifas no Latossolo Vermelho-Escuro com braquiária e comprimento total de hifas no Latossolo Roxo com braquiária e soja (Tabelas 3A, e 6A), estas não são discutidas neste trabalho.

No Latossolo Vermelho-Escuro com braquiária, verifica-se interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre o histórico de uso do solo e a inoculação com *Glomus etunicatum* (Figura 3e), mostrando que no solo não cultivado a inoculação aumenta a estabilidade dos agregados do solo (DMG). Esse aumento (Figura 3e) mostra o papel destes microrganismos no processo de estabilização dos agregados do solo. Efeito de fungos micorrízicos na agregação do solo foram verificados por Tisdall e Oades (1982); Gupta e Germida (1988); Oades e Waters (1991); Thomas, Franson e Bethlenfalvay (1993) e Andrade, Mihara e Linderman et al. (1998), os quais observaram um emaranhamento proporcionado pelo crescimento externo das hifas no solo, responsável por unir as partículas primárias do solo, aumentando a estabilidade dos agregados em água. Para a soja, interação significativa ( $P < 0,05$ ) é observada entre o histórico de uso do

solo e a adubação fosfatada (Figura 3b), mostrando que no solo cultivado a adição da maior dose de fósforo aumenta a estabilidade dos agregados do solo. Este aumento, com a maior dose de fósforo, deve-se provavelmente ao maior crescimento das hifas dos fungos micorrízicos nesta dose que, como se sabe, tem sua importância reconhecida na agregação do solo (Tisdal, 1994), a ser discutido posteriormente.

No Latossolo Vermelho-Escuro verifica-se independentemente da cultura, que o solo não cultivado apresenta valores mais elevados de estabilidade dos agregados comparado ao solo cultivado (Figuras 3a, b, e e f). Isto mostra que o cultivo do solo anterior aos realizados em casa-de-vegetação reduziu a estabilidade dos agregados do solo. Tal fato pode ser creditado, entre outros fatores, à preservação dos teores mais elevados de carbono neste solo (26,4 e 19,1 g kg<sup>-1</sup> para o solo não cultivado e cultivado, respectivamente, tabela 1), que contribui para elevar os valores de estabilidade dos agregados (Tisdall e Oades, 1982; Roth, Castro Filho e Medeiros, 1991); ao maior teor de gibbsita (Tabela 2), que também tem seu papel destacado na agregação do solo (Lima, 1987; Lima, Curi, Resende et al., 1990; Veiga, Cabeda e Reichert, 1993) e à inexistência de práticas de cultivo, que são intensivas em solo sob cultivo de culturas anuais com sistema de manejo convencional. De acordo com Ros, Secco, Fiorin et al. (1997), quando o solo passa de uma condição natural, mato ou campo nativo, para uma de cultivo anual, ocorre, devido aos implementos agrícolas, o fracionamento de agregados do solo em unidades cada vez menores. Maior vulnerabilidade, ou instabilidade dos agregados em solos cultivados e submetidos, entre outros aspectos, à mecanização agrícola, foram também observadas por outros pesquisadores (Carpenedo e Mielniczuk, 1990; Paladini e Mielniczuk, 1991; Silva e Mielniczuk, 1997b).



**FIGURA 3.** Efeito do histórico de uso, adubação fosfatada e inoculação sobre a estabilidade dos agregados (diâmetro > 2mm) de Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo plantados com braquiária e soja. (P: fósforo; P0: 5%; P1: 50%; H: histórico; NC: não cultivado; C: cultivado; NI: não inoculado; I: inoculado).

No Latossolo Roxo com braquiária é verificada interação significativa ( $P < 0,01$ ) entre o histórico de uso do solo e adubação fosfatada (Figura 3c) mostrando que o solo cultivado, na maior dose de fósforo, apresentou menor estabilidade dos agregados que o solo com a menor dose de fósforo. Embora esse comportamento possa indicar um possível efeito dispersivo do fósforo sobre a dispersão e/ou floculação das argilas, tal fato parece estar mais relacionado a uma falta de ação do *Glomus etunicatum* neste tratamento, já que apresentou porcentagem de colonização zero, conforme posteriormente discutida, (Tabela 3) e que, ao contrário do solo com menor dose de fósforo (porcentagem de colonização 30% - Tabela 3), teve possivelmente a estabilidade dos agregados aumentada pelas hifas do *Glomus etunicatum*. Interação significativa ( $P < 0,05$ ) é também verificada entre o histórico de uso do solo e a inoculação com fungos micorrízicos (Figura 3g), mostrando que a inoculação com *Glomus etunicatum* no solo não cultivado aumenta a estabilidade dos agregados do solo. Valores mais elevados de estabilidade dos agregados em água para o solo inoculado evidenciam o papel destes microrganismos no processo de formação e estabilização dos agregados do solo. Esse efeito foi também verificado por outros pesquisadores (Tisdall e Oades, 1982; Gupta e Germida, 1988; Oades e Waters, 1991; Miller e Jastrow, 1992; Thomas, Franson e Bethlenfalvay 1993; Andrade, Mihara e Linderman et al., 1998). De acordo com Miller e Jastrow (1992), isto ocorre devido à existência de três processos que ocorrem simultaneamente: i) crescimento externo da hifa micorrízica na matriz do solo, criando uma armação para estrutura que mantém juntas as partículas primárias do solo via emaranhamento físico; ii) criação, pelas hifas externas e raízes, de condições para a formação de microagregados e iii) emaranhamento dos microagregados em macroagregados, pelas raízes e hifas externas, criando estruturas de tamanhos maiores. Para o Latossolo Roxo com soja, é observada interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre a adubação fosfatada e



a inoculação (Figura 3m). Neste caso, observa-se que na maior dose de fósforo a inoculação aumenta a estabilidade dos agregados, possivelmente por condicionar maior crescimento das hifas fúngicas que, conforme já comentado anteriormente, têm seu papel destacado na agregação do solo.

No Latossolo Roxo com soja, é verificado, ao contrário do observado para a braquiária, um efeito individual do histórico de uso sobre a estabilidade dos agregados (Figuras 3d e h). Esse efeito mostra uma maior eficiência da braquiária no processo de formação e/ou estabilização dos agregados, já que partindo das mesmas condições e sob os mesmos tratamentos esta cultura com apenas dois cultivos em casa-de-vegetação eliminou o efeito individual do histórico verificado na cultura da soja. Isto ocorre porque as gramíneas são mais eficientes na agregação do solo (Tisdall e Oades, 1979; Carpenedo e Mielniczuk, 1990; Paladini e Mielniczuk, 1991) devido à maior densidade de raízes, às periódicas renovações do sistema radicular e à uniforme distribuição dos exsudatos no solo, que estimulam a atividade microbiana (Silva e Mielniczuk, 1997a), promovendo maior agregação.

#### **4.2 Índice de floculação das argilas**

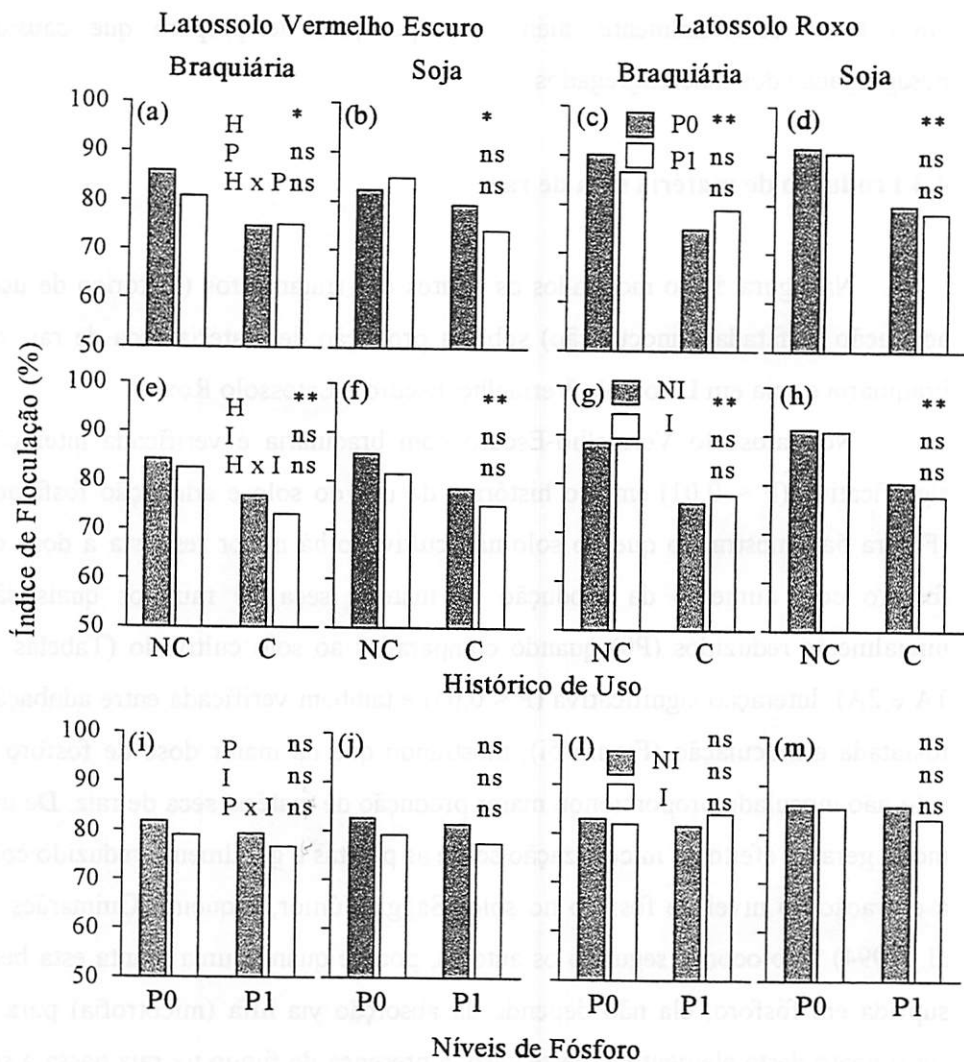
Na figura 4 são apresentados os resultados do índice de floculação de argila em função dos tratamentos (histórico de uso, adubação fosfatada e inoculação) para o Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo com braquiária e soja.

No caso do Latossolo Vermelho-Escuro, tanto com braquiária como com soja há um efeito individual do histórico de uso sobre o índice de floculação (Figuras 4a, b, e e f). Efeitos do cultivo sobre a dispersão de partículas foi também demonstrado por Rosa Junior (1984) ao verificar um menor índice de floculação das partículas do solo e/ou aumento de argila dispersa em água num

Latossolo Roxo distrófico submetido ao cultivo por 9 anos. Segundo o autor, este efeito foi associado, entre outros aspectos, às modificações promovidas pela calagem que, ao elevar o pH do solo, promove um aumento nas cargas negativas, alterando, dessa maneira, a dinâmica da dispersão e facilitando a desagregação de partículas. Em solos do Rio Grande do Sul, Buttierres (1980) destacou também, além da calagem, a participação da fosfatagem nesse processo. No presente estudo não foi observado efeito do fósforo para nenhum dos casos estudados em casa-de-vegetação.

Ocorrência de menor índice de floculação no solo cultivado reflete na menor estabilidade dos agregados, conforme verificado nas figuras 3a, b, e e f. De acordo com Jucksch, Costa, Moura Filho et al. (1996), uma maior dispersão de partículas implica em maior facilidade de destruição dos agregados, uma vez que a agregação do solo se inicia pela floculação dos colóides (Grohmann, 1972), embora nem sempre correlações significativas são encontradas entre estabilidade dos agregados e índice de floculação das argilas.

No Latossolo Roxo, tanto com braquiária como com soja, é observado o mesmo comportamento do Latossolo Vermelho-Escuro, ou seja, apenas um efeito individual do histórico de uso sobre essa variável, estando as partículas mais floculadas no solo não cultivado (Figura 4c, d, g e h). Isto mostra que as condições de balanço de cargas na superfície das partículas, parâmetro este que define as condições de dispersão e floculação, são semelhantes para ambos os solos. Possivelmente, o ponto isoelétrico do Latossolo Roxo que, em função do mais elevado teor de ferro, deveria ser mais elevado, tenha sido reduzido pelo maior teor de fósforo neste solo, resultante de adubações realizadas anteriormente ao estabelecimento da gramínea neste solo nos últimos cinco anos, ou seja, antes de ser ocupado por pastagem este solo foi cultivado por mais de 15 anos sob sistemas de manejo convencional, onde calagem e fosfatagem



**FIGURA 4.** Efeito do histórico de uso, adubação fosfatada e inoculação sobre o índice de flocculação das argilas em Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo plantados com braquiária e soja. (P: fósforo; P0: 5%; P1: 50%; H: histórico; NC: não cultivado; C: cultivado NI: não inoculado; I: inoculado).

eram feitas ocasionalmente, além das operações de preparo que causam desagregação dos macroagregados.

#### 4.3 Produção de matéria seca de raiz

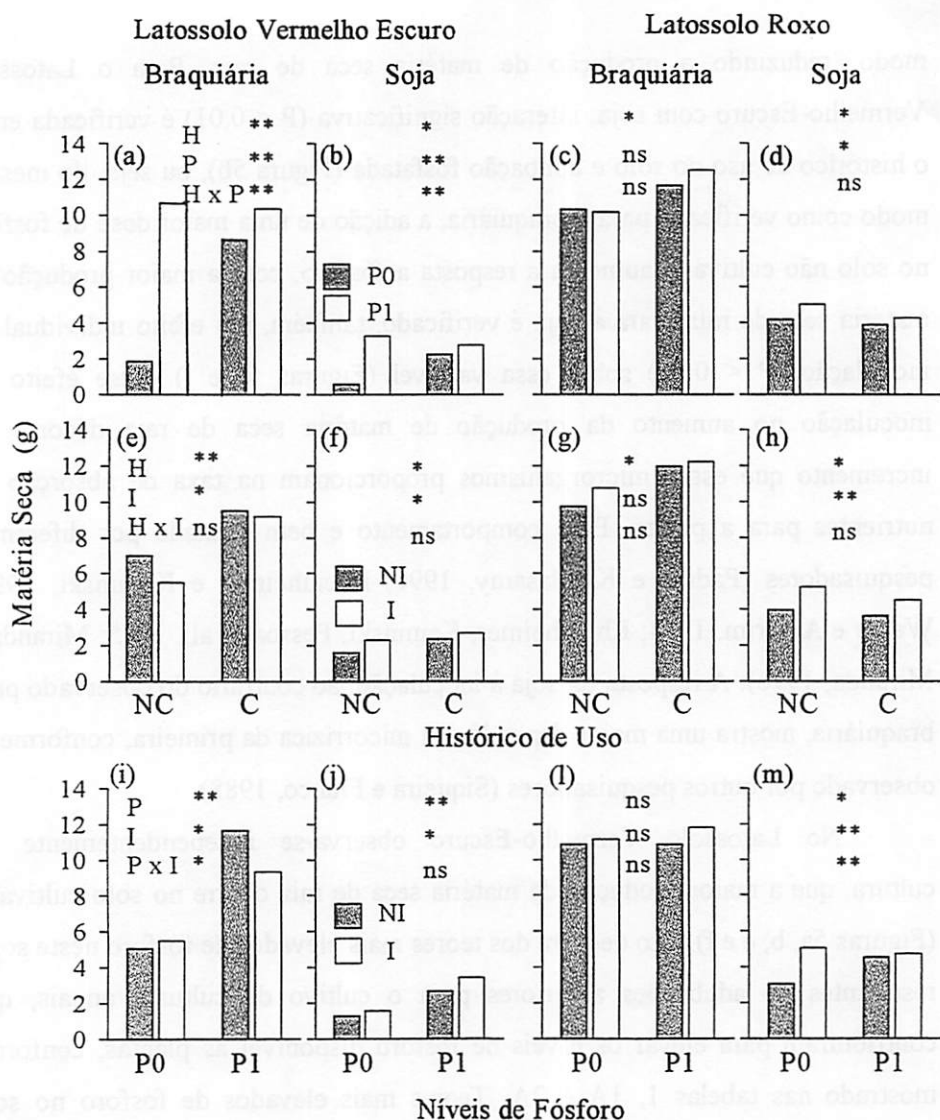
Na figura 5 são mostrados os efeitos dos tratamentos (histórico de uso, adubação fosfatada e inoculação) sobre a produção de matéria seca de raiz de braquiária e soja em Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo.

No Latossolo Vermelho-Escuro com braquiária é verificada interação significativa ( $P < 0,01$ ) entre o histórico de uso do solo e adubação fosfatada (Figura 5a), mostrando que no solo não cultivado há maior resposta à dose de fósforo com aumento da produção de matéria seca de raiz, os quais são inicialmente reduzidos ( $P_0$ ) quando comparados ao solo cultivado (Tabelas 1, 1A e 2A). Interação significativa ( $P < 0,05$ ) é também verificada entre adubação fosfatada e inoculação (Figura 5i), mostrando que na maior dose de fósforo o solo não inoculado proporcionou maior produção de matéria seca de raiz. De um modo geral, o efeito da micorrização sobre as plantas é geralmente reduzido com a elevação do nível de fósforo no solo (Saggin-Júnior, Siqueira, Guimarães et al., 1994). Isto ocorre, segundo os autores, porque quando uma planta está bem suprida em fósforo, ela não depende da absorção via hifa (micotrofia) para o suprimento deste elemento e, neste caso, a presença do fungo na raiz passa a ser um investimento energético supérfluo ou sem retorno. No entanto, como plantas bem supridas em fósforo não são imunes à colonização, esta, mesmo que numa baixa taxa nas raízes, pode constituir-se num dreno significativo de fotossintatos, contribuindo, neste caso, para a redução do crescimento (Peng, Eissenstat, Graham et al., 1993). Na tabela 3, que mostra o efeito dos tratamentos sobre a colonização micorrízica, é observada uma taxa de colonização de 9% neste tratamento, possivelmente funcionando como dreno de fotossintatos e, desse

modo, reduzindo a produção de matéria seca de raiz. Para o Latossolo Vermelho-Escuro com soja, interação significativa ( $P < 0,01$ ) é verificada entre o histórico de uso do solo e adubação fosfatada (Figura 5b), ou seja, do mesmo modo como verificado para a braquiária, a adição de uma maior dose de fósforo no solo não cultivado aumenta a resposta a fósforo, com a maior produção de matéria seca de raiz. Para a soja é verificado, também, um efeito individual da inoculação ( $P < 0,05$ ) sobre essa variável (Figuras 5f e j). Esse efeito da inoculação no aumento da produção de matéria seca de raiz decorre do incremento que esses microrganismos proporcionam na taxa de absorção de nutrientes para a planta. Esse comportamento é bem relatado por diferentes pesquisadores (Padma e Kandasamy, 1990; Rheinheimer e Kaminski, 1994; Weber e Amorim, 1994; Rheinheimer, Kaminski, Pessoa et al., 1995; Miranda e Miranda, 1996). A resposta da soja à inoculação, ao contrário do observado para braquiária, mostra uma maior dependência micorrízica da primeira, conforme já observado por outros pesquisadores (Siqueira e Franco, 1988).

No Latossolo Vermelho-Escuro observa-se independentemente da cultura, que a maior produção de matéria seca de raiz ocorre no solo cultivado (Figuras 5a, b, e e f). Isto decorre dos teores mais elevados de fósforo neste solo, resultantes de adubações anteriores para o cultivo de culturas anuais, que contribuíram para elevar os níveis de fósforo disponível às plantas, conforme mostrado nas tabelas 1, 1A e 2A. Teores mais elevados de fósforo no solo cultivado também explicam a falta de resposta da braquiária e soja à adição de uma maior dose de fósforo neste solo.

Para o Latossolo Roxo com braquiária, é verificado apenas um efeito individual do histórico de uso sobre essa variável, com a ocorrência de maior produção de matéria seca de raiz no solo cultivado (Figuras 5c e g). Esse comportamento segue a mesma tendência observada no solo anterior para as culturas da braquiária e soja, provavelmente devido à maior disponibilidade de



**FIGURA 5.** Efeito do histórico de uso, adubação fosfatada e inoculação sobre a produção de matéria seca de raiz de braquiária e soja plantado em um Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo. (P: fósforo; P0: 5%; P1: 50%; H: histórico; NC: não cultivado; C: cultivado; NI: não inoculado; I: inoculado).

nutrientes às plantas neste solo (Tabela 1). Por outro lado, a falta de resposta da braquiária à fosfatagem e inoculação deve-se ao elevado teor inicial de P-Resina neste solo (Tabelas 1 e 2A), suficiente para suprir as necessidades da braquiária mesmo na dose mais baixa. Para a soja é observada, além do efeito individual do histórico, interação significativa ( $P < 0,01$ ) entre a adubação fosfatada e inoculação (Figura 5m), mostrando que na menor dose de fósforo a inoculação com fungos micorrízicos aumenta a produção de matéria seca de raiz, efeito este bem relatado por diferentes pesquisadores (Padma e Kandasamy, 1990; Rheinheimer e Kaminski, 1994; Weber e Amorim, 1994; Rheinheimer, Kaminski, Pessoa et al. 1995; Miranda e Miranda, 1996).

Segundo Siqueira e Colozzi-Filho (1986), há um nível crítico de disponibilidade de fósforo para que os efeitos da micorrização se tornem evidentes, de modo que na zona mutualista ocorra o máximo benefício da simbiose, ou seja, de acordo com Siqueira, Hubbell e Valle (1984), a resposta da planta à micorrização parece depender do balanço entre o efeito estimulatório na absorção de fósforo e o efeito detrimental causado pelo fluxo de fotossintatos do hospedeiro para o fungo, o que representa um dreno de carbono da planta. Isto talvez explique o efeito da inoculação na braquiária e soja plantadas nestes solos com disponibilidade diferente de fósforo. A braquiária não foi influenciada pela inoculação para elevar a produção de matéria seca de raiz, observando inclusive um efeito depressivo desta no Latossolo Vermelho-Escuro, na maior dose de fósforo. De acordo com Stribley, Tinker e Rayner (1980), apesar de não se saber exatamente como este dreno ocorre, ele parece resultar da maior demanda de carbono pelo fungo, provocada pelo aumento das perdas de carbono na respiração radicular e acumulação de carbono no citoplasma das células corticais, reduzindo o crescimento da planta, quando bem suprida em fósforo (Siqueira, Hubbell e Valle, 1984). A soja, por sua vez, teve no Latossolo Vermelho-Escuro, com menor disponibilidade de fósforo, um efeito individual

da inoculação, enquanto no Latossolo Roxo, com maior disponibilidade de fósforo, esse efeito só é observado na menor dose de fósforo.

#### **4.4 Colonização micorrízica e comprimento total de hifas**

Na tabela 3 são apresentadas as médias de colonização micorrízica em função dos tratamentos (histórico de uso, adubação fosfatada e inoculação) para braquiária e soja em Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo.

No Latossolo Vermelho-Escuro com braquiária verifica-se que a colonização micorrízica é limitada pela maior dose de fósforo nos solos não cultivado e cultivado. Na condição de solo previamente cultivado, o efeito é ainda maior devido à maior disponibilidade do fósforo neste solo, resultante de adubações anteriores para o cultivo de culturas anuais (Tabelas 1, 1A e 2A). Para a soja, observa-se, no solo cultivado, o mesmo comportamento verificado para braquiária, embora de forma menos pronunciada. Para o solo não cultivado é observado que a maior dose de fósforo, ao contrário do observado para braquiária, contribui para aumentar a colonização micorrízica. Na tabela 3 é também observado que a braquiária apresenta uma maior porcentagem de colonização que a soja quando não se aplica a maior dose de fósforo ao solo, sendo esse comportamento revertido quando a maior dose é adicionada ao solo. Comportamentos semelhantes foram também observados por Fernandes, Siqueira, Menezes et al. (1987) em plantas de milho e soja.

A diferenciação do efeito do fósforo sobre a colonização micorrízica na braquiária e soja, principalmente no solo não cultivado, deve-se provavelmente à natureza contrastante do sistema radicular dessas plantas que, no caso da soja, é menos eficiente na captação de nutrientes do solo, especialmente do fósforo. Neste caso é provável que o fósforo talvez esteja num nível que limita o desenvolvimento da soja, limitando também o crescimento do fungo (Sainz e



Arines, 1988), tomando a maior dose um estimulante para colonização micorrízica nas raízes desta planta. Segundo alguns autores, plantas com sistema radicular menos desenvolvido possuem alto requerimento externo de fósforo para o seu desenvolvimento normal (Fox, 1979) e maior capacidade para formar a simbiose MVA (Mosse, 1981), que exerce um importante papel na nutrição fosfatada dessas espécies vegetais (Fernandes, Siqueira, Menezes et al., 1987).

Para o Latossolo Roxo com braquiária e soja é observado o mesmo comportamento verificado no solo anterior, embora na soja a colonização no solo cultivado ocorre de forma indiferente às doses de fósforo.

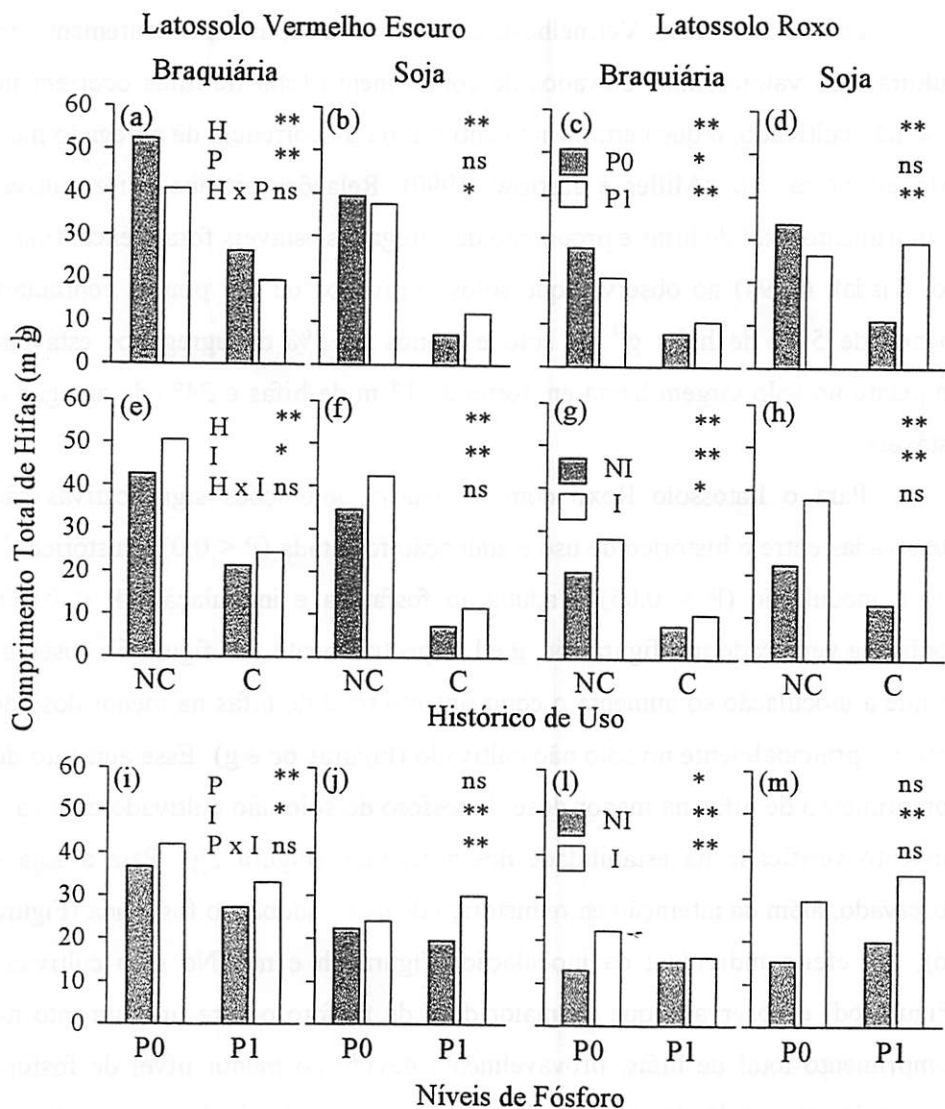
**TABELA 3.** Colonização micorrízica em braquiária e soja plantadas num Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo

Tratamento	LE		LR		
	Braquiária	Soja	Braquiária	Soja	
-----%-----					
Não cultivado					
P0	I	53	3	50	36
	NI	0	0	0	0
P1	I	9	33	12	54
	NI	0	0	0	0
Cultivado					
P0	I	41	16	30	29
	NI	0	0	0	0
P1	I	0	12	0	28
	NI	0	0	0	0

Na figura 6 são apresentados os dados de comprimento total de hifas em função dos tratamentos (histórico de uso, adubação fosfatada e inoculação) para o Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo com braquiária e soja.

Para essa variável, é preciso destacar que mesmo nos tratamentos sem a inoculação (percentagem de colonização zero - Tabela 3) observa-se a ocorrência de valores consideráveis de comprimento total de hifas, muitas vezes com valores similares ao solo inoculado. Tal fato se deve ao método de quantificação do micélio extraradicular usado neste trabalho, que não diferencia hifas de fungos micorrízicos daqueles não micorrízicos (saprofíticos), que também se encontram na massa do solo.

Neste sentido são verificados, no Latossolo Vermelho-Escuro com braquiária, efeitos individuais do histórico de uso ( $P < 0,01$ ), da adubação com fósforo ( $P < 0,01$ ) e da inoculação ( $P < 0,05$ ), com presença de valores mais elevados para o solo não cultivado, com menor dose de fósforo e inoculação com *Glomus etunicatum*, conforme verificado respectivamente nas figuras 6a e e. O maior comprimento total de hifas no solo não cultivado e com a inoculação (figura 6e) explica a maior estabilidade dos agregados neste solo, conforme observado na figura 3e, já que tanto as raízes finas como as hifas de fungos saprofiticos e micorrízicos contribuem para o processo de agregação do solo através da junção de microagregados em agregados maiores (Miller e Jastrow, 1990). Esse efeito da inoculação ocorre na menor dose de fósforo (Figuras 6a e i). Para a soja, interação significativa é observada entre histórico de uso e adubação fosfatada ( $P < 0,05$ ) e adubação fosfatada e inoculação ( $P < 0,01$ ), conforme verificado respectivamente nas figuras 6b e j. No solo cultivado, o aumento do comprimento total de hifas (Figura 6b) na maior dose de fósforo (Figura 6j) explica o aumento da estabilidade dos agregados verificado na figura 3b.



**FIGURA 6.** Efeito do histórico de uso, adubação fosfatada e inoculação sobre o comprimento total de hifas em agregados > 2 mm de um Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo plantados com braquiária e soja. (P: fósforo; P0: 5%; P1: 50%; H: histórico; NC: não cultivado; C: cultivado; NI: não inoculado; I: inoculado).

Para o Latossolo Vermelho-Escuro observa-se, independentemente da cultura, que valores mais elevados de comprimento total de hifas ocorrem no solo não cultivado, o que certamente contribui para ocorrência de agregado mais estáveis neste solo (Miller e Jastrow, 1990). Relações estreita entre cultivo, comprimento total de hifas e proporção de agregados estáveis foram encontradas por Tisdall (1994) ao observar que solos cultivados ou em pousio continham menos de 5 m de hifas  $g^{-1}$  de solo e menos de 5% de agregados estáveis, enquanto no solo virgem havia em torno de 17 m de hifas e 24% de agregados estáveis.

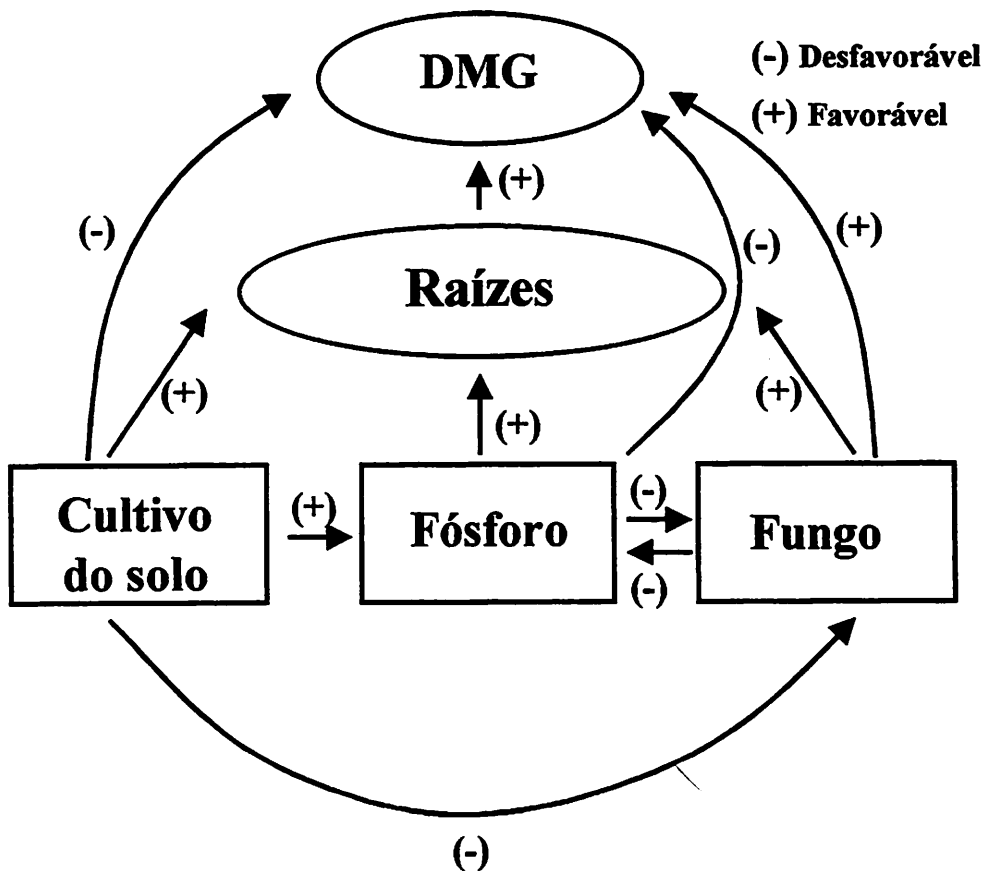
Para o Latossolo Roxo com braquiária, interações significativas são observadas entre o histórico de uso e adubação fosfatada ( $P < 0,01$ ), histórico de uso e inoculação ( $P < 0,05$ ) e adubação fosfatada e inoculação ( $P < 0,01$ ), conforme verificado nas figuras 6c, g e l respectivamente. Na figura 6l, observa-se que a inoculação só aumenta o comprimento total de hifas na menor dose de fósforo, principalmente no solo não cultivado (Figuras 6c e g). Esse aumento do comprimento de hifas na menor dose de fósforo do solo não cultivado explica o aumento verificado na estabilidade dos agregados (Figura 3g). Para a soja é observado, além da interação entre histórico de uso e adubação fosfatada (Figura 6d), um efeito individual da inoculação (Figura 6h e m). No solo cultivado (Figura 6d) é observado que na maior dose de fósforo ocorre um aumento no comprimento total de hifas, provavelmente devido ao menor nível de fósforo neste solo, que pode estar limitando o desenvolvimento do fungo quando em associação com a cultura da soja. De acordo com Sainz e Arines (1988), adições de pequenas doses de fósforo em solos com menor disponibilidade podem aumentar a porcentagem de colonização e produção de micélio externo, pois o fósforo pode estar limitando tanto o desenvolvimento do fungo como do hospedeiro em si.

## 4.5 Considerações finais

Apesar do pouco tempo de condução deste experimento em casa-de-vegetação, verificou-se efeito positivo da inoculação com *Glomus etunicatum* sobre a estabilidade dos agregados dos dois solos. Isto ocorre devido ao emaranhamento de microagregados em macroagregados pelas hifas, eficiente na agregação mesmo em um curto espaço de tempo.

Os resultados observados neste experimento, conforme ilustrado na figura 7, sugerem que embora os solos apresentem naturalmente estabilidade de agregados diferenciada devido a diferenças mineralógicas, texturais, etc., há, dependendo do tipo de manejo do solo, uma maior ou menor redução na estabilidade dos agregados quando submetidos ao cultivo. Essa redução, em geral, reflete-se negativamente sobre as propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo.

No modelo ilustrado na figura 7 verifica-se, também, que ao inocular plantas com *Glomus etunicatum*, o efeito dispersivo do fósforo pode ser atenuado ou até mesmo eliminado, já que em solos com baixa disponibilidade de fósforo, à exemplo dos latossolos, a adição desse elemento contribui para aumentar a produção de matéria seca de raízes e o comprimento total de hifas no solo quando os níveis de fósforo encontram-se dentro da zona mutualista. Esse aumento no sistema radicular das plantas e no comprimento total de hifas no solo, além de reduzir os níveis de fósforo na solução do solo, por aumentar a capacidade da planta na absorção de nutrientes, contribui para elevar a estabilidade dos agregados pelo aumento na quantidade de exsudatos liberados no solo, que estabilizam microagregados (diâmetro  $< 0,25$  mm) e macroagregados (diâmetro  $> 0,25$  mm) pelo emaranhamento desses microagregados e outras partículas em unidades maiores pelas raízes finas e hifas de fungos micorrízicos.



**FIGURA 7.** Inter-relações entre cultivo, adubação fosfata e inoculação de braquiária e soja com *Glomus etunicatum* sobre a estabilidade de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo.

Neste sentido, sugere-se que medidas de quantificação do comprimento total de hifas de fungos micorrízicos e não micorrízicos no campo, sob diferentes sistemas de manejo de solo, são importantes para detecção do papel destes microrganismos na melhoria da estrutura do solo. Com isto, são gerados subsídios visando determinar, para cada solo, a melhor combinação entre sistema de manejo de solo, planta, adubação fosfatada e fungos micorrízicos.

## 5 CONCLUSÕES

O cultivo reduz a estabilidade dos agregados do solo (DMG), o índice de floculação das argilas e o comprimento total de hifas no solo;

O efeito da adubação fosfatada na redução da estabilidade de agregados foi atenuado e/ou eliminado por promover um melhor desenvolvimento de plantas e aparentemente favorecer a inoculação em solos com baixa disponibilidade de fósforo, fatores que contribuem para agregação do solo;

A inoculação com *Glomus etunicatum* eleva a estabilidade dos agregados em Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo, sendo esse efeito condicionado aos níveis de fósforo no solo e condição de histórico de uso do solo;

A braquiária, quando inoculada com *Glomus etunicatum*, foi mais eficiente na recuperação/manutenção da estabilidade dos agregados em água que a soja, devido à maior quantidade de raízes e exsudatos de raízes e hifas no volume do solo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, J.F.; ODON, J.W. Effects of pH and phosphorus rates on soil-solution phosphorus and phosphorus availability. *Soil Science*, Baltimore, v.140, n.3, p.202-205, Sept. 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 – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- ANDRADE, G.; MIHARA, K.L.; LINDERMAN, R.G.; BETHLENFALVAY, G.J. Soil aggregation status and rhizobacteria in the mycorrhizosphere. *Plant and Soil*, The Hague, v.202, n.1, p.89-96, May (I) 1998.
- BAHIA FILHO, A.F.C. **Índice de disponibilidade de fósforo em Latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas**. Viçosa: UFV, 1982. 179p. (Tese – Doutorado em Fitotecnia).
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A.C. Relações 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, set./dez.1983.
- BALDOCK, J.A.; KAY, B.D.; SCHNITZER, M. Influence of cropping treatments on the monosaccharide content of the hidrolysates of a soil and its aggregate fractions. *Canadian Journal Soil Science*, Ottawa, v.67, n.3, p.489-499, Aug. 1987.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, H.R. *Soil physics*. 4.ed. New York: John Wiley, 1972. 498p.



- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.**
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.377-382.**
- BUTTIERRES, M.F.M. Efeito do calcário e fosfato de potássio no ponto de carga zero (PCZ) e grau de flocculação em três solos do Rio Grande do Sul. Santa Maria: UFSM, 1980. 59p. (Dissertação de mestrado).**
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRELE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo d solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.19, n.1, p.121-126, jan./abr. 1995.**
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.14, n.1, p.99-105, jan./abr. 1990.**
- CARVALHO, A.F. Emprego da agitação horizontal na avaliação da estabilidade de agregados de cinco solos da Região Sudeste. Viçosa: UFV, 1991. 73p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).**
- CARVALHO, M.A. Retenção de água e outros atributos físicos de agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro. Viçosa: UFV, 1998. 83p. (Tese – Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).**

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

**CURI, N.** Lithosequence and toposequence of oxisols from Goiás and Minas Gerais States, Brazil. West Lafayette: Purdue University, 1983. 158p. (Tese - Ph.D.).

**CURI, N.; CAMARGO, O.A.; GUEDES, G.A.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., 1988, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS/SBCS, 1988. p.267-282.

**DALLA ROSA, A.** Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solo degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latosolo Roxo Distrófico). Porto Alegre: UFRGS, Faculdade de Agronomia, 1981. 138p. (Dissertação de Mestrado).

**DAY, P.R.** Particle fractionation and particle-size analysis. In: **BLACK, C.A.** *Methods of soil analysis*. Madison: ASA, 1965. v.1, p.545-566.

**DODD, J.C.** Approaches to the study of the extraradical mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi. In: **GIANINAZZI, S.; SCHÜEPP, H.** *Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems*. Berlin: Birkhauser, 1994. p.147-166.

**DORIOZ, J.M.; ROBERT, M.; CHENU, C.** The role of roots, fungi and bacteria on clay particle organization. An experimental approach. *Geoderma*, Amsterdam, v.56, p.179-194. 1993.

**ELLIOT, E.T.; COLEMAN, D.C. Let the soil work for us. *Ecological Bulletins*, v.39, p.23-32, 1988.**

**EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. *Mapa de solos do Brasil*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1981.**

**EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1997. 212p.**

**EMERSON, W.W. The structure of soil crumbs. *Journal Soil Science*, London, v.10, p.235-244, 1959.**

**FACCIN, O.P. *Influência das características químicas, físicas e mineralógicas sobre a estabilidade de agregados de diferentes grupamentos de solos*. Lavras: UFLA, 1995. 66p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).**

**FARINA, M.P.W.; SUMNER, M.G.; PLANK, C.O.; LETZSCH, W.S. Exchangeable aluminum and pH as indicators of lime requirement for corn. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, n.5, p.1036-1044, Sept./Oct. 1980.**

**FASSBENDER, Hans W.; BORNEMISZA, E. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. San Jose: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1994. 420p.**

**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 endomicorrízica em milho e soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.11, n.2, p.101-108, maio/ago. 1987.**

- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N.** Mineralogia da fração argila e estrutura de latossolos da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.507-514, jul./set. 1999.
- FONTES, M.P.F.** Iron oxide mineralogy in some brazilian oxisols. Raleigh: North Carolina State University, 1988. 175p. (Tese – Ph.D.).
- FOX, R.L.** Comparative responses of field grown crops to phosphate concentrations in soil solutions. In: **MUSSELL, H.W.; STAPLES, R.C.** Stress physiology in crop plants. New York: Wiley-Interscience, 1979. p.81-106.
- FROSSARD, E.; BROSSARD, M.; HEDLEY, M.J.; METHERELL, A.** Reactions controlling the cycling of P in soils. In: **TIESSEN, H.** P cycling in terrestrial and aquatic ecosystem: a global perspective. New York: John Wiley & Son, 1994. p.1-65.
- GAVANDE, S.A.** Física de suelos: principios y aplicaciones. México: Limusa, 1976. 351p.
- GERDERMANN, J.N.; NICOLSON, T.H.** Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions British Mycological Society**, London, v.46, p.235-244, 1963.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B.** An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, London, v.84, n.3, p.484-500, Mar. 1980.

- GOEDERT, W.J. Management of acid tropical soils in the savannas fo South America. In: IBSRAM (International Board for Soil Research and Management). **Management of acid tropical soils for sustainable agriculture: proceedings of an IBSRAM inaugural workshop**. Bangkok: Thailand, 1987. p.109-127.
- GROHMANN, F. Estrutura. In: MONIZ, A.C. **Elementos de pedologia**. São Paulo: Polígono, 1972. p.101-110.
- GUPTA, V.V.S.R.; GERMIDA, J.J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. **Soil biology and biochemistry**, Oxford, v.20, n.6, p.777-786, 1988.
- HADAS, A.; RAWITZ, E.; ETKIN, H.; MARGOLIN, M. Short-term variations of soil physical properties as a function of the amount and C/N ratio of decomposing cotton residues I: Soil aggregation and aggregate tensile strength. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.32, n.2-3, p.183-198, Nov. 1994.
- HAYNES, R.J.; LUDECK, T.E. Effect of lime and phosphorus applications on concentrations of available nutrients and on P, Al and Mn uptake by two pasture legumes in an acid soil. **Plant and Soil**, The Hague, v.62, p.241-254, 1981.
- HAYNES, R.J. Effects of liming on phosphate availability in acid soils. **Plant and Soil**, The Hague, v.68, p.289-308, 1982.
- HAYNES, R.J.; SWIFT, R.S. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. **Journal of Soil Science**, London, v.41, n.1, p.73-83, Mar. 1990.

- HAYNES, R.J.; SWIFT, R.S.; STEPHEN, R.C. Influence of mixed cropping rotations (pasture arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.19, p.77-87, 1991.
- 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
- HEDLEY, M.J.; HUSSIN, A.; BOLAN, M.S. New approaches to phosphorus fertilization. In: SYMPOSIUM OF PHOSPHORUS REQUIREMENTS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE IN ASIA AND OCEANIA, 1., 1990, Filipinas. *Proceedings...* Filipinas: IRRI, 1990. p.125-142.
- HINGSTON, F.J.; POSNER, A.M; QUIRK, J.P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.23, n.2, p.177-192, June 1972.
- JASTROW, J.D.; MILLER, R.M.; LUSSENHOP, J. Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.30, n.7, p.905-916, 1998.
- 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, n.4, p.818-825, July-Aug. 1981.
- JUCKSCH, I.; COSTA, L.; MOURA FILHO, W.; RIBEIRO, A.C.; SOPRANO, E. Efeito da calagem na dispersão de argila em um Latossolo Vermelho Escuro. *Revista Ceres*, v.33, n.189, p.456-460, set./out. 1986.

- KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U.** The 5M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. *Clays and Clay Minerals*, Lawrence, v.30, n.6, p.401-408, 1982.
- KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C.** Aggregate stability and size distribution. In: **KLUTE, A.** *Methods of soil analysis*. Madison: ASA, 1986. v.1, p.425-442.
- KER, J.C.** *Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil*. Viçosa: UFV, 1995. 181p. (Tese – Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- KER, J.C.** Latossolos do Brasil: uma revisão. *Geonomos*, Belo Horizonte, v.5, n.1, p.17-40. Jul. 1997.
- LARSEN, S.** Soil phosphorus. *Advance in Agronomy*, New York, v.19, p.151-210, 1967.
- LIMA, J.M.** *Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de solos da região de Lavras (MG)*. Lavras: ESAL, 1987. 86p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- LIMA, J.M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P.** Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, n.1, p.85-90, jan./abr. 1990.
- LIMA, J.M.** *Relation between phosphate sorption and agregation in oxisols from Brazil*. East Lansing: Michigan State University, 1995. 87p. (PhD. Dissertation).

- LOPES, A.S. Solos sob "cerrado": características, propriedades e manejo. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1983. 162p.
- LYNCH, J.M.; BRAGG, E. Microorganisms and soil aggregate stability. *Advance in Soil Science*, v.30, p.133-168, 1985.
- LYNDSAY, W.L. *Chemical equilibria in soils*. New York: Wiley Interscience, 1979. 449p.
- MACHADO, J.A.; SOUZA, D.M.; BRUM, A.C.R. Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.5, n.3, p.187-189, set./dez. 1981.
- McLAUGHIN, J.R.; RYDEN, J.C.; SYERS, J.R. Sorption of inorganic phosphate by iron and aluminum components. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.32, p.365-377, 1981.
- MELLONI, R. *Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas*. Piracicaba: ESALQ/USP, 1996. 83p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MERHA, 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, 7<sup>th</sup>, 1958, Washington. *Proceedings...* Washington: 1960. p.317-327.
- 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, n.1-2, p.107-123, Aug. 1993.



- MESQUITA, M.G.B.F. **Dispersão da fração argila e estabilidade de agregados em função da aplicação de calcário e gesso agrícola em Latossolo da região dos Campos das Vertentes (MG), cultivado com Andropogon e Estilosantes.** Lavras: ESAL, 1992. 112p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MILLER, R.M.; JASTROW, J.D. **Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation.** *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.22, n.5, p.579-584, 1990.
- MILLER, R.M.; JASTROW, J.D. **The role of mycorrhizal fungi in soil conservation.** In: *Micorrizae in Sustainable Agriculture*. Madison: American Society of Agronomy, 1992, p.29-44.
- MIRANDA, J.C.C.; MIRANDA, L.N. **Efeito de fungos micorrízicos arbusculares nativos de cerrado no crescimento de soja adubada com nitrogênio ou inoculada com *Rhizobium*.** In: *SIMPOSIO SOBRE O CERRADO*, 8., 1996. Brasília. Anais... Brasília: EMBRAPA/CPAC, 1996. p.393-395.
- MOLOPE, M.B.; GRIEVE, I.C.; PAGE, E.R. **Contributions by fungi and bacteria to aggregate stability of cultivated soils.** *Journal Soil Science*, London, v.38, n.1, p.71-77, Mar. 1987.
- MOSSE, B. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza research for tropical agriculture.** Honolulu: Institute for Tropical Agriculture and Human Resources, 1981. 81p. (Res Bull, v.194).
- MOTTA, P.E.F. **Fósforo em latossolos com diferentes mineralogias, cultivados e não cultivados: fracionamento, sorção e disponibilidade para a soja e braquiária com e sem micorrizas.** Lavras: UFLA, 1999. 158p. (Tese – Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

- MYERS, R.; THIEN, S.J. Soil permeability in an ammonium and phosphorus application zone. **Soil Science Society America Journal**. Madison, v.55, n.3, p.866-871, May/June 1991.
- OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, The Hague, v.76, n.1/3, p.319-337, 1984.
- OADES, J.M.; WATERS, A.G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 29, p.815-828, 1991.
- OADES, J.M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, Amsterdam, v.56, p.377-400, 1993.
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para o seu reconhecimento**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.
- 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.
- PADMA, T.M.R.; KANDASAMY, D. Effect of interaction between VA-mycorrhizae and graded levels of phosphorus on the growth of papaya (*Carica papaya* L.). In: NATIONAL CONFERENCE ON MYCORRHIZA, 1990. Hizar, Índia. **Proceedings...** Hisar: Haryana Agricultural University, 1990. p.133-134.

- PALADINI, F.L.; MIELNICZUK, J.** Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho Escuro afetado por sistema de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.2, p.135-140, maio/ago. 1991.
- PENG, S.; EISSENSTAT, D.M.; GRAHAM, J.H.; WILLIAMS, K.; HODGE, N.C.** Growth depression in micorrhizal citrus at high-phosphorus supply. Analysis of carbon costs. **Plant Physiology**, Maryland, v.101, n.3, p.1063-1071, Mar. 1993.
- RAIJ, B.van; PEECH, M.** Electrochemical properties of some oxisols and alfisols of the tropics. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.36, n.4, p.587-593, July/Aug. 1972.
- REINERT, D.J.; MUTTI, L.S.M.; ZACO, A.; AZOLIN, M.A.D.; HOFFMANN, C.L.** Efeito de diferentes métodos de preparo do solo sobre a estabilidade de agregados em solo Podzólico Vermelho Amarelo. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.14, n.1, p.19-25, jan./mar. 1984.
- RESENDE, M.** *Pedologia*. Viçosa: UFV, 1982. 100p.
- REZENDE, S.B.** *Geomorphology, mineralogy, and genesis of four soils on gneiss in southeastern Brazil*. West Lafayette: Purdue University, 1980. 143p. (Tese - Ph.D.).
- RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.** Resposta do capim-pensacola à adubação fosfatada e à micorrização em solos com diferentes valores de pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p.201-205, maio/ago. 1994.

- RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; PESSOA, A.C.S.; CASSOL, L.C.** Efeito do cultivo sucessivo e inoculação com fungos micorrízicos no crescimento e nutrição do capim-pensacola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.43-48, jan./abr. 1995.
- RHUE, R.D.; HENSEL, D.R.** The effect of lime on the availability of residual phosphorus and its extractability by dilute acid. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.47, n.2, p.266-270, Mar./Apr. 1983.
- ROBERT, M.; CHENU, C.** Interactions between soil minerals and microorganisms. In: **STOTZKY, G.; BOLLAG, J.M.** **Soil Biochemistry**. Madison: Marcel Dekker, 1992. v.7, p.307-379.
- ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A.; PASA, L.** Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.2, p.241-247, abr./jun. 1997.
- ROSA JUNIOR, E.J.** Efeito de sistemas de manejo e tempo de uso sobre características físicas e químicas de dois solos no município de Ponta Porã, MS. Viçosa: UFV, 1984. 89p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- ROTH, C.H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G.B.** Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.15, n.3, p. 241-248, set./dez. 1991.
- RUEDELL, J.** Plantio direto na região de Cruz Alta. Cruz Alta: FUNDACEP/FECOTRIGO, 1995. 134p.

- SAGGIN JÚNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O.; GUIMARÃES, P.T.G.; OLIVEIRA, E. Interação fungos micorrízicos *versus* superfosfato e seus efeitos no crescimento e teores de nutrientes do cafeeiro em solo não fumigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.1, p.27-36, jan./abr. 1994.
- SAINZ, M.J.; ARINES, J. Effect of indigenous and introduced vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on growth and phosphorus uptake of *Trifolium pratense* and on inorganic P fractions in a Cambisol. **Biology Fertility of Soil**, Heidelberg, v.6, p.55-60, 1988.
- 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. **The role of phosphorous in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.471-514.
- SANTANA, D.P. **Soil formation in a toposequence of oxisols from Patos de Minas region, Minas Gerais, State, Brazil**. West Laffayette: Purdue University, 1984. 129p. (Tese - Ph.D.).
- 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
- SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.3, p.113-117, set./dez. 1997a.
- SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.2, p.313-319, maio/ago. 1997b.

- SILVA, M.L.N.; CURI, N. BLANCANEUX, P.; LIMA, J.M.; CARVALHO, A.M. de. Rotação adubo verde – milho e adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho-Escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.6, p.649-654, jun. 1997.
- SILVA, R.B.; LIMA, J.M.; DIAS JUNIOR, M.S. Efeito da adsorção de fosfato em parâmetros físicos e na compressibilidade de solos tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.219-226, abr./jun. 1999.
- SIMS, J.T.; ELLIS, B.G. Adsorption and availability of phosphorus following the application of limestone to an acid aluminous soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.47, n.5, p.888-893, Sept./Oct. 1983.
- SIQUEIRA, J.O.; HUBBELL, D.H.; VALLE, R.R. Effects of phosphorus on formation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbioses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.12, p.1465-1474, dez. 1984
- SIQUEIRA, J.O.; COLOZZI-FILHO, A. Mutualismo e parasitismo na simbiose micorrízica entre *Gigaspora margarita* e mudas de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.11, n.2, p.348-349, jun. 1986.
- SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Bioteecnologia do Solo: Fundamentos e Perspectivas**. Brasília, MEC/ABEAS; Lavras, ESAL/FAEPE, 1988. 235p.
- SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares. In: ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. **Microorganismos de importância agrícola**. Brasília: EMBRAPA/CNPA/CNPS, 1994. p.151-194.
- SMYTH, T.J.; SANCHEZ, P.A. Effects of lime, silicate and phosphorus applications to na oxisol on phosphros sorption and ion retention. **Soil Science Society of America Journal**, Madisno, v.44, n.3, p.500-505, May/June, 1980.

- SOUZA, J.A.; CURI, N.; GUEDES, G.A.A.** Relação entre mineralogia e adsorção-dessorção de fósforo em alguns latossolos sob cerrado do Planalto Central. *Ciência e Prática*, Lavras, v.15, n.1, p.103-111, jan./mar. 1991.
- SOUZA, L.S.; COGO, N.P.** Caracterização física em solo da Unidade de Mapeamento São Jerônimo (PALEUDULT), em três sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.2, n.3, p.170-175, set./dez. 1978.
- SPOSITO, G.** *The chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 1989. 277p.
- STRIBLEY, D.P.; TINKER, P.B.; RAYNER, J.H.** Relation of internal phosphorus concentration and plant weight in plants infected by vesicular-arbuscular mycorrhiz. *New Phytologist*, London, v.86, p.261-266, 1980.
- STUMM, W.** *Chemistry of the solid-water interface: processes at the mineral-water and particle water interface in natural systems*. New York: John Wiley & Sons, 1992. 428p.
- SYLVIA, D.M.** Distribution, structure and function of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. In: **BOX J.E.; HAMMOND, L.H.** *Rhizosphere dynamics*. Boulder: Westview Press, 1990. p.144-167.
- THOMAS, R.S.; FRANSON, R.L.; BETHLENFALVAY, G.J.** Separation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus and root effects on soil aggregation. *Soil Science Society America Journal*, Madison, v.57, n.1, p.77-81, 1993.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M.** Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Australian Journal Soil Research*, Victoria, v.17, p.429-441, 1979.

**TISDALL, J.M.; OADES, J.M.** Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science, Oxford**, v.33, n.1, p.141-163, Mar. 1982.

**TISDALL, J.M.** Possible role of soil microorganisms in agregation in soils. **Plant and Soil, The Hague**, v.159, n.1, p.115-121, Feb (I) 1994.

**VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V.; REICHERT, J.M.** Erodibilidade em entressulcos de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas**, v.17, n.1, p.121-128, jan./abr. 1993.

**VETTORI, L.** Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).

**VIONE, E.L.B.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; MARKIEWICZ, L.E.** Fracionamento do fósforo em solos sob plantio direto. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. Anais... Águas de Lindóia: Software, 1996. 1 CD-ROM.

**WANN, S.S.; UEHARA, G.** Surface charge manipulation of constant surface potential soil colloids I: relation to sorbed phosphorus. **Soil Science Society of America Journal, Madison**, v.42, n.4, p.565-570, July/Aug. 1978.

**WEBER, O.B.; AMORIM, S.M.C.** de. Adubação fosfática e inoculação de fungos micorrízicos vesículoarbusculares em mamoeiro 'solo'. **Revista Brasileira de Ciência do solo, Campinas**, v.18, n.2, p.187-191, maio/ago. 1994.

**WHITE, R.E.; TAYLOR, A.W.** Effect of pH on phosphate adsorption and isotopic exchange in acid soil at low and high additions of soluble phosphate. **Journal of Soil Science, London**, v.28; n.1, p.48-61, Mar.1977.



## ANEXOS

		<b>Página</b>
TABELA 1A	Fracionamento do fósforo no Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo pelo método de Chang e Jackson (1957).....	62
TABELA 2A	Fracionamento do fósforo no Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo pelo método de Hedley, Steward, Chauhan (1982).....	62
TABELA 3A	Níveis de significância obtidos a partir da análise de variância para estabilidade dos agregados de Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo plantados com braquiária e soja.....	63
TABELA 4A	Níveis de significância obtidos a partir da análise de variância para o índice de floculação de partículas de Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo plantados com braquiária e soja.....	63
TABELA 5A	Níveis de significância obtidos a partir da análise de variância para produção de matéria seca de raiz de braquiária e soja plantados em Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo.....	64
TABELA 6A	Níveis de significância obtidos a partir da análise de variância para o comprimento total de hifas em Latossolo Vermelho Escuro e Roxo plantados com braquiária e soja.....	64

TABELA 1A Fracionamento do fósforo no Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo pelo método de Chang e Jackson (1957).

Solo	Formas de fósforo			P-Ca/(P-Al + P-Fe)
	P-Al	P-Fe	P-Ca	
	mg kg <sup>-1</sup>			
LE NC	23	35	5	0,06
LE C	79	85	33	0,20
LR NC	703	839	283	0,18
LR C	504	839	341	0,25

TABELA 2A Fracionamento do fósforo no Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo pelo método de Hedley, Steward, Chauhan (1982).

Formas de P	Solo			
	LE		LR	
	NC	C	NC	C
	mg kg <sup>-1</sup>			
P-Resina	4,1	30,3	129,9	86,5
P-Microbiano	18,2	15,9	59,5	23,4
Pt-Bicarbonato	24,4	34,8	212,4	128,4
Pi-Bicarbonato	6,2	18,9	153,0	105,0
Po-Bicarbonato	18,2	15,9	59,5	23,4
Pt-NaOH	135,2	208,0	2.035,5	1.894,3
Pi-NaOH	63,5	145,6	1.707,7	1.615,0
Po-NaOH	71,6	62,4	327,7	279,4
P-HCl	1,0	41,1	150,0	135,2
P-Residual	1.162,4	1.320,4	2.581,1	4.113,3
CMAP	1233	1.052	3.000	2.092

TABELA 3A: Níveis de significância obtidos a partir da análise de variância para estabilidade dos agregados de Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo plantados com braquiária e soja.

CV	LE		LR	
	Braquiária	Soja	Braquiária	Soja
Histórico	**	**	ns	*
Fósforo	ns	ns	ns	**
Inoculação	**	ns	**	ns
H x P	ns	*	**	ns
H x I	*	ns	*	ns
P x I	ns	ns	ns	*
H x P x I	*	ns	ns	ns

TABELA 4A: Níveis de significância obtidos a partir da análise de variância para o índice de floculação de partículas de Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo plantados com braquiária e soja.

CV	LE		LR	
	Braquiária	Soja	Braquiária	Soja
Histórico	*	*	**	**
Fósforo	ns	ns	ns	ns
Inoculação	ns	ns	ns	ns
H x P	ns	ns	ns	ns
H x I	ns	ns	ns	ns
P x I	ns	ns	ns	ns
H x P x I	ns	ns	ns	ns

TABELA 5A Níveis de significância obtidos a partir da análise de variância para produção de matéria seca de raiz de braquiária e soja plantados em Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo.

CV	LE		LR	
	Braquiária	Soja	Braquiária	Soja
Histórico	**	*	*	*
Fósforo	**	**	ns	*
Inoculação	*	*	ns	**
H x P	**	**	ns	ns
H x I	ns	ns	ns	ns
P x I	*	ns	ns	**
H x P x I	ns	ns	ns	ns

TABELA 6A Níveis de significância obtidos a partir da análise de variância para o comprimento total de hifas em Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo plantados com braquiária e soja.

CV	LE		LR	
	Braquiária	Soja	Braquiária	Soja
Histórico	**	**	**	**
Fósforo	**	ns	*	ns
Inoculação	*	**	**	**
H x P	ns	*	**	**
H x I	ns	ns	*	ns
P x I	ns	**	**	ns
H x P x I	*	ns	**	*