

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

“Contribuições da micorrização e do *Aspergillus niger*, como solubilizador de fosfato, no crescimento de milho, em diferentes solos”

ELOISA APARECIDA DA SILVA

Orientadora: Prof^a Dr^a Ana Maria Rodrigues Cassiolato

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

Ilha Solteira – SP
dezembro/2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

S586c

Silva, Eloisa Aparecida da.

Contribuições da micorrização e do *Aspergillus niger*, como solubilizador de fosfato, no crescimento de milho, em diferentes solos / Eloisa Aparecida da Silva. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2009.

62 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2009

Orientador: Ana Maria Rodrigues Cassiolato

Bibliografia: p. 45-60

1. Fungos micorrízicos . 2. Solos – Teor de fósforo. 3. Milho híbrido.
4. Solos tropicais.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Contribuições da micorrização e do *Aspergillus niger*, como solubilizador de fosfato, no crescimento de milho, em diferentes solos

AUTORA: ELOISA APARECIDA DA SILVA

ORIENTADORA: Profa. Dra. ANA MARIA RODRIGUES CASSIOLATO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em AGRONOMIA ,
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:



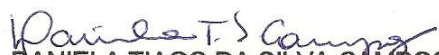
Profa. Dra. ANA MARIA RODRIGUES CASSIOLATO

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Profa. Dra. KATIA LUCIENE MALTONI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Profa. Dra. DANIELA TIAGO DA SILVA CAMPOS

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária / Universidade Federal de Mato Grosso

Data da realização: 18 de dezembro de 2009.

À minha mãe Cleuza, à minha irmã Edicléia e à minha madrinha Maria Cândida que estão sempre comigo dispostas a tornar a minha vida mais fácil.

DEDICO

Ao Pedro, meu namorado, sempre ao meu lado trabalhando arduamente como psicólogo, psiquiatra e personal trainer.

OFEREÇO

Agradecimentos

À Deus pela minha vida e por todo amparo.

À Ana Maria Rodrigues Cassiolato pela orientação.

À Kátia Luciene Maltoni, jamais poderei encontrar as palavras certas para agradecer o suficiente por tudo que você fez por mim desde que me conheceu.

Aos funcionários da Universidade Estadual Paulista - Campus de Ilha Solteira que me ajudaram no meu mestrado.

Às minhas amigas barangas que estiveram comigo à curta e à longa distância.

À Faculdade de Engenharia - UNESP do Campus de Ilha Solteira pela minha formação profissional.

À CAPES, pela concessão da Bolsa de Estudos.

CONTRIBUIÇÕES DA MICORRIZAÇÃO E DO *ASPERGILLUS NIGER*, COMO SOLUBILIZADOR DE FOSFATO, NO CRESCIMENTO DE MILHO, EM DIFERENTES SOLOS

Autor: Eloisa aparecida da Silva

Orientadora: Ana Maria Rodrigues Cassiolato

RESUMO

Os solos tropicais apresentam fósforo, geralmente adsorvido, o que o torna indisponível para as plantas. Como o fósforo é um nutriente essencial ao crescimento das plantas, justificam-se estudos relacionados com fungos micorrízicos arbusculares e com microrganismos solubilizadores de fosfato. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da inoculação com *Aspergillus niger* e *Glomus clarum* no crescimento de milho, em diferentes solos, visando o aproveitamento do fósforo lábil e não lábil do solo. O experimento foi conduzido em condições de cultivo protegido com solo não esterilizado. O delineamento foi em blocos casualizados e o esquema fatorial 4x4, constituído de 4 diferentes solos e 4 tratamentos de inoculação (*G. clarum*, *A. niger*, *G. clarum* + *A. niger* e controle não inoculado, mas com adubação fosfatada), com 6 repetições, sendo cada repetição constituída por 4 plantas. Avaliou-se as características químicas do solo (em duas épocas), o crescimento das plantas (altura, matéria fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular), carbono do CO₂ liberado, carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico, quociente microbiano, colonização micorrízica e número de esporos. A inoculação de *G. clarum* proporcionou valores semelhantes ao controle fosfatado para matéria fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular das plantas de milho. O fungo *A. niger* mostrou-se capaz de solubilizar o fósforo do solo, mas promoveu resultados intermediários para a planta. Os diferentes teores de óxidos de ferro e alumínio dos solos analisados não influenciaram as contribuições de *G. clarum* e *A. niger* na disponibilização de fósforo para as plantas de milho. O curto período da condução do experimento pode ter sido insuficiente para a obtenção resultados quanto a solubilização de fósforo pelo *A. niger*. A inoculação com *G. clarum* e ou *A. niger* proporcionou teores foliares de fósforo e nitrogênio semelhantes ao controle fosfatado. O carbono de biomassa microbiana aumentou ao longo do tempo e mostrou-se diretamente proporcional ao quociente microbiano. A inoculação de *G. clarum* resultou no decréscimo do quociente metabólico e na maior colonização micorrízica e número de esporos, assim como a inoculação de *G. clarum* e ou *A. niger* acarretou maior respiração microbiana ao longo do tempo.

Palavras chave: *Glomus clarum*, fósforo, *Zea mays*, cerrado.

CONTRIBUTIONS OF THE MYCORRHIZATION AND OF THE *ASPERGILLUS NIGER* AS PHOSPHATE SOLUBILIZATION, IN THE CORN GROWTH, IN DIFFERENT SOILS

Author: Eloisa Aparecida da Silva
Adviser: Ana Maria Rodrigues Cassiolato

ASBTRACT

Tropical soils have phosphorus, usually absorbed, making it unavailable to plants. Once phosphorus is an essential nutrient for plant growth, studies on mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing microorganisms is justified. The objective of this study was to evaluate the effect of inoculation with *Glomus clarum* and *Aspergillus niger* on the corn growth, in different soils, seeking the use of the labile and non labile phosphorus of the soil. The experiment was conducted in greenhouse conditions cultivation with unsterilized soil. The experimental design was completely randomized with four replications, in a 4x4 factorial scheme, constituted of 4 different soils and 4 soil inoculation (*G. clarum*, *A. niger*, *G. clarum* + *A. niger* and without inoculation, but with phosphate fertilization), with 6 replicates, each one consisting of 4 plants. The chemical characteristics (two times), the plant growth (height, fresh and dry shoot of the canopy and the root system), CO₂ carbon (C-CO₂) released, microbial biomass, metabolic quotient, microbial quotient, mycorrhizal colonization and number of spores were evaluated. The inoculation of *G. clarum* gave values similar to the phosphate control for fresh and dry shoot and root system. The fungus *A. niger* has shown to solubilize the soil phosphorus, but it provided intermediate results for the plant. The different levels of iron and aluminum oxides in the soil samples analyzed did not influence the contributions of *G. clarum* and *A. niger* in phosphorus available for the plant growth. The sort time of this experiment may have been insufficient to obtain results for the solubilization of phosphorus by *A. niger*. Inoculation with *G. clarum* and or *A. niger* increased concentration of leaf phosphorus and nitrogen similar to the phosphate control. The carbon microbial biomass increased over time, showing to be directly related to the microbial quotient. The inoculation of *G. clarum* resulted microbial quotient lower values, and provides higher micorrhizal colonization and number of spores. The microbial respiration showed a higher over time under the effect of inoculation with *G. clarum* and or *A. niger*.

Key words: *Glomus clarum*, phosphorus, *Zea mays*, cerrado.

Lista de Tabelas

Tabela 1. Caracterização mineralógica dos quatro latossolos, coletados na camada de 0-0,20 m na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da UNESP, localizada município de Selvíria-MS.....	24
Tabela 2. Caracterização inicial dos solos para fósforo (P-resina), matéria orgânica (MO), potencial de hidrogênio (pH), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V %).....	24
Tabela 3. Médias e valores de F para fósforo (P-resina), matéria orgânica (MO), potencial de hidrogênio (pH), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V %), nas diferentes épocas e tipos de solos em função dos tratamentos.....	31
Tabela 4. Desdobramento das interações significativas para matéria orgânica (MO), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V) entre diferentes épocas amostragem e tipo de solo.....	33
Tabela 5. Desdobramento das interações significativas para potássio (K), nos diferentes solos, em função dos tratamentos.....	34
Tabela 6. Desdobramento das interações significativas para soma de bases (Sb), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), fósforo (P) e saturação por bases (V%), nas diferentes épocas, em função dos tratamentos.....	35
Tabela 7. Médias e valores de F para altura (ALT), matéria fresca da parte aérea (MFPA), seca da parte aérea (MSPA), fresca do sistema radicular (MFR), seca do sistema radicular (MSR), fosfatase ácida vegetal (fosfatase) e teores foliares de fósforo (P) e nitrogênio (N) nos diferentes tipos de solos em função dos tratamentos	36
Tabela 8. Desdobramento das interações significativas para matéria fresca da parte aérea (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA), nos diferentes solos, em função dos tratamentos.....	38
Tabela 9. Médias e valores de F para carbono liberado (C-CO ₂ liberado), carbono de biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (<i>q</i> CO ₂) e quociente microbiano (<i>q</i> MIC), nas diferentes épocas e tipos de solos em função dos tratamentos.....	39
Tabela 10. Desdobramento das interações significativas para carbono do CO ₂ (C-CO ₂) liberado, carbono de biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (<i>q</i> CO ₂) e quociente microbiano (<i>q</i> MIC) e as diferentes épocas em função dos tratamento.....	41

Tabela 11. Desdobramento das interações significativas para carbono do CO ₂ (C-CO ₂) liberado e as diferentes épocas e tipos de solos.....	41
Tabela 12. Desdobramento das interações significativas para carbono do CO ₂ (C-CO ₂) liberado, carbono de biomassa microbiana (CBM) e quociente metabólico (<i>q</i> CO ₂) e os diferentes solos.....	42
Tabela 13. Médias e valores de F e coeficiente de variação para colonização micorrízica e número de esporos em função dos tratamentos.....	43

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1. A cultura do milho.....	12
2.2. A importância do fósforo para as plantas.....	13
2.3. Fósforo no solo.....	13
2.4. Os solos brasileiros.....	15
2.5. Bioindicadores do solo.....	17
2.6. Fungos micorrízicos arbusculares.....	19
2.7. Fungos solubilizadores de fósforo.....	20
2.8. Fosfatase ácida vegetal.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Local de instalação do experimento e descrição dos solos utilizados.....	23
3.2. Delineamento experimental, multiplicação e inoculação de <i>Glomus clarum</i> e <i>Aspergillus niger</i>	25
3.3. Análises realizadas.....	26
3.3.1. Análise das plantas.....	26
3.3.2. Caracterização química e microbiológica do solo.....	27
3.3.2.1. Quantificação do carbono do CO ₂ (C-CO ₂) liberado.....	27
3.3.2.2. Quantificação do carbono da biomassa microbiana (CBM).....	27
3.3.2.3. Determinação do quociente metabólico (qCO_2).....	28
3.3.2.4. Determinação do quociente microbiano ($qMIC$).....	28
3.3.2.5. Contagem de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA).....	28

3.3.2.6. Porcentagem de colonização micorrízica.....	28
3.4. Análise dos dados.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1. Atributos do solo.....	30
4.2. Crescimento das plantas.....	36
4.3. Variáveis microbiológicas.....	39
5. CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS.....	45
7. APÊNDICE.....	61
7. Apêndice A. Coeficiente de correlação para fósforo (P-resina), matéria orgânica (MO), potencial de hidrogênio (pH), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V %), altura, matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca do sistema radicular (MFR), matéria seca do sistema radicular (MSR), fosfatase ácida vegetal (Fosfatase) e teores foliares de fósforo (P) e nitrogênio (N), CO ₂ liberado (C-CO ₂), carbono de biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (qCO ₂) e quociente microbiano (qMIC), colonização micorrízica (COL) e número de esporo.....	62

1. INTRODUÇÃO

O fósforo é essencial ao metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese. Seu adequado suprimento é fundamental desde os estádios iniciais de crescimento das plantas, podendo a sua deficiência resultar em restrições no desenvolvimento, das quais as plantas não se recuperam posteriormente, mesmo elevando o suprimento de fósforo a níveis adequados.

Por isso são necessárias grandes doses de adubos fosfatados para que as culturas obtenham alta produtividade, sendo comum o uso de fertilizantes de baixa solubilidade para reduzir o custo de implantação de lavouras. A concentração de fósforo na solução do solo é, geralmente, baixa, devido a sua forte interação com o solo. Essa interação é conhecida como fixação e seus mecanismos envolvem a adsorção e, ou, a precipitação do fósforo na superfície de óxidos hidratados ou não de ferro e alumínio.

Com o intuito de diminuir o uso e otimizar o aproveitamento de fertilizantes fosfatados solúveis na agricultura, justificam-se estudos focados na quantificação da capacidade de solubilização de fosfatos insolúveis por microrganismos solubilizadores, como o *Aspergillus niger* Tiegh, visando seu uso futuro na forma de inoculantes.

Ainda, para promover uma melhor utilização do fósforo existente no solo, pode-se inocular fungos micorrízicos arbusculares, os quais aumentam a área de absorção das raízes das plantas, permitindo que explorem o solo mais eficientemente. Esses estimulam o crescimento vegetal como consequência do efeito sobre a nutrição das plantas, principalmente na absorção de fósforo, além de cálcio, enxofre, zinco e cobre.

A alteração na labilidade do carbono tem sido considerada como indicadora de qualidade do solo, pois as frações lábeis são mais sensíveis às mudanças promovidas no solo do que os teores totais de carbono orgânico. Assim, o carbono de biomassa microbiana, o teor de carbono do CO₂ liberado, o quociente metabólico e o quociente microbiano têm sido utilizados como

importantes parâmetros na avaliação dos efeitos das condições ambientais sobre a atividade microbiana do solo, devido à fertilidade do solo ser dependente da ciclagem de matéria orgânica mediada pela biomassa microbiana do solo sendo esta, responsável por quase toda a atividade biológica do mesmo, catalisando as transformações bioquímicas e representando fonte e dreno de carbono do solo.

Contudo, esses estudos carecem de perspectiva quando considerados extensivamente. Dessa forma, a pesquisa das condições de crescimento desses microrganismos no solo constitui um potencial a ser explorado. Diante da importância do fósforo para a agricultura e da crescente necessidade de maximizar a utilização de fosfatos solúveis, uma vez que em solos tropicais apresentam-se ligados a óxidos de ferro e alumínio, o que os torna indisponíveis para as plantas, é que se propõe a condução do presente trabalho, com o objetivo de avaliar o efeito da inoculação com *Aspergillus niger* Tiegh e *Glomus clarum* Nicol. & Schenck no crescimento de milho (*Zea mays* Lineu) em diferentes solos, visando o aproveitamento do fósforo não lábil do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do milho

O milho, provavelmente, é a mais importante planta comercial com origem nas Américas. Há indicações de que sua origem tenha sido no México, América Central ou Sudoeste dos Estados Unidos. É uma das culturas mais antigas do mundo, havendo provas, por meio de escavações arqueológicas e geológicas e de medições por desintegração radioativa, de que é cultivado há pelo menos 5.000 anos. Logo depois do descobrimento da América, foi levado para a Europa, onde era cultivado em jardins até que seu valor alimentício tornou-se conhecido. Passou, então, a ser plantado em escala comercial e se espalhou desde a latitude de 58° norte (União Soviética) até 40° sul (Argentina) (CAMPOS, 1998)

A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Na realidade, o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo. Nos Estados Unidos, cerca de 50% é destinado a esse fim, enquanto que no Brasil varia de 60 a 80%, dependendo da fonte da estimativa e de ano para ano (COELHO; FRANÇA, 1995).

A alimentação humana, com derivados de milho, constitui fator importante de uso desse cereal em regiões com baixa renda, apesar de não ter uma participação muito grande no uso de milho em grão. Em algumas situações, o milho constitui a ração humana diária de alimentação, por exemplo: no Nordeste do Brasil, esta é a fonte de energia para as muitas pessoas que vivem no semi-árido; outro exemplo está na população mexicana, que tem no milho o ingrediente básico para sua culinária (CRUZ et al., 2000).

A cultura do milho constitui-se em atividade significativa e relevante para o setor agrícola brasileiro. Anualmente, cerca de 12,5 milhões de hectares são cultivados com o referido cereal, perfazendo produção aproximada de 40,8 milhões de toneladas de grãos (CONSULTORIA & COMÉRCIO -FNP, 2007).

2.2. A importância do fósforo para as plantas

Nas plantas, o fósforo desempenha papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese. As limitações na sua disponibilidade, no início do ciclo vegetativo, podem resultar em restrições ao desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados (GRANT et al., 2001).

O baixo nível de fósforo, disponível no solo, para a planta é uma condição comum ao redor do mundo. Embora o fósforo total do solo possa ser alto, ele é ligado firmemente a componentes orgânicos e inorgânicos do solo e está indisponível para a absorção por meio das raízes. As plantas, porém, desenvolveram muitas estratégias para ganhar acesso ao fósforo fixado. Estas estratégias incluem associação com fungos micorrízicos, que colonizam as raízes das plantas e desenvolvem hifas que se difundem no solo, aumentando a absorção de fósforo pela raiz (BLEVINS, 1999).

Algumas plantas secretam ácidos orgânicos, como ácido cítrico e ácido málico, que formam complexos com alumínio e ferro, liberando o fósforo para absorção pelas raízes. As raízes também podem secretar enzimas especiais, como fosfatases, que quebram as formas orgânicas de fósforo no solo e o torna disponível para absorção por meio das raízes da planta. Algumas plantas desenvolveram arquitetura de raiz diferenciada que as ajudam na interceptação do fósforo do solo pelas raízes. Estas estratégias são algumas das técnicas de sobrevivência das plantas, que ocorrem sob condições de estresse (BLEVINS, 1999).

2.3. Fósforo no Solo

Os minerais fosfatados primários são as fontes de fósforo nos sistemas naturais. Como é seu constituinte estrutural, para ser utilizado pelos organismos vivos, deve haver rompimento da estrutura cristalina para ser liberado. O rompimento desses minerais primários ocorre mediante intemperização, que depende dos fatores e processos de formação do solo durante a pedogênese. O fósforo é, então, liberado para a solução do solo e readsorvido aos colóides, mas parte dele é

absorvida pelos organismos e pelas plantas. Neste estágio de formação do solo, ocorre a maior biodisponibilidade de fósforo, já que os colóides inorgânicos são pouco intemperizados e a quantidade de sítios adsorventes é pequena; por isso, ele é retido com baixa energia, facilitando seu retorno à solução do solo. Concomitantemente à utilização de fósforo pelos organismos vivos, seus resíduos são depositados no solo e uma nova forma é acumulada, o fósforo orgânico (GATIBONI, 2003).

Com o avanço do intemperismo, os minerais fosfatados são degradados e sua contribuição no fornecimento de fósforo ao sistema é reduzida. Adicionalmente, os minerais do solo também sofrem intemperismo, aumentando sua cristalinidade e aumentando os sítios de adsorção aniônica. Com isso, a fase sólida mineral do solo muda seu caráter frente à disponibilidade de fósforo, passando de fonte a dreno da solução, devido à formação de complexos de alta energia e de difícil reversibilidade, o que diminui a biodisponibilidade do nutriente (GATIBONI, 2003).

Assim, o destino do fósforo dos minerais primários é o próprio solo, pois se estabiliza em compostos inorgânicos e orgânicos de alta energia de ligação, ficando a sua bioutilização depende da interceptação pelas raízes antes da passagem para formas mais estáveis e antes da mineralização do fósforo orgânico. Estima-se que 25% dos solos tropicais e subtropicais, caracterizados pelo alto grau de intemperismo, apresentam deficiência acentuada de fósforo (SANCHEZ; LOGAN, 1992).

O aumento dos teores de fósforo orgânico com o avanço do intemperismo dos solos tem sido demonstrado por vários autores. Cross e Schlesinger (1995) relatam a existência de valores de 5% do fósforo total em formas orgânicas em Entisolos e 35% em Oxisolos. Correlação positiva entre o conteúdo de fósforo orgânico e teores de ferro, extraído por ditionito (Fed), foram relatadas por Duffera e Robarge (1996), mostrando que com o avanço do intemperismo aumentam os teores de fósforo orgânico.

Esse comportamento foi também observado em solos tropicais de El Salvador (DAHNIKE et al., 1964), Venezuela (WESTIN; BRITO, 1969) e Brasil (NEPTUNE et al., 1975). No Brasil Central, Guerra et al. (1996) relataram que o fósforo orgânico total representou de 13 a 47% do fósforo total do solo, sendo crescente com o grau de intemperismo dos solos. Os autores observaram, também, que em solos menos desenvolvidos houve correlação positiva entre os compartimentos fósforo total e fósforo orgânico lábil, mas isso não ocorreu nos solos mais

intemperizados, possivelmente porque o fósforo orgânico lábil é utilizado por organismos e plantas devido à carência de fósforo orgânico inorgânico no solo.

No Rio Grande do Sul, Machado et al. (1993) não encontraram diferenças nos percentuais de fósforo orgânico em solos da Região Sul (pouco intemperizados) e do Planalto Riograndense (mais intemperizados), porém o percentual de fósforo inorgânico ativo baixou de 31% para 12% do fósforo total, respectivamente, indicando que a disponibilidade de fósforo inorgânico diminuiu em solos intemperizados. A participação das frações inorgânicas (fósforogeoquímico) e orgânicas (fósforo biológico) na manutenção da disponibilidade de fósforo para as plantas foi demonstrada por Tiessen et al. (1984) em solos com graus de desenvolvimento distintos. Estes autores verificaram que em solos pouco desenvolvidos, 86% do fósforo extraído por resinas de troca de ânions (RTA) era provenientes das frações inorgânicas, enquanto em solos mais intemperizados 80% foi proveniente das frações orgânicas. Guerra et al. (1996) também observaram que o fósforo orgânico lábil (extraído por NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$) correspondeu a mais de 60% da fração lábil em solos intemperizados do Brasil Central.

2.4. Os solos brasileiros

Os solos brasileiros, geralmente, são pobres em fósforo disponível e, por conseguinte, a adubação com esse nutriente é uma das práticas que mais elevam a produtividade da agropecuária, desde que outros fatores da produção não se apresentem ainda mais limitantes. Esse macronutriente, segundo Raij (1991), é exigido em menores quantidades pelas plantas, porém é o mais aplicado em adubações no Brasil, devido a sua carência generalizada e, também, porque o elemento tem forte interação com o solo. Essa interação é conhecida como fixação e seus mecanismos envolvem a adsorção nas superfícies de óxidos hidratados ou não de Fe e Al e/ou precipitação com os mesmos íons (KAMPRATH, 1977).

Em decorrência do fenômeno da fixação que ocorre no solo, grande quantidade de fósforo é aplicada nas culturas, porém apenas de 5 a 20% é absorvido pelas plantas (RAIJ et al., 1996). Os fertilizantes solúveis, além do alto custo e da grande quantidade requerida, possibilitam uma reação do fósforo solúvel introduzido com componentes do solo, formando, compostos de fósforo insolúveis, e indesejáveis (VASSILEV et al., 1996).

Os Latossolos são solos em avançado estado de intemperismo, apresentam intensa perda de sílica (dessilicatização), com resultante acúmulo de óxidos insolúveis de ferro e alumínio (UEHARA, 1988), sendo os mais freqüentes a goetita (αFeOOH), a hematita ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$) e a gibbsita $\gamma\text{Al}(\text{OH})_3$. A primeira confere cor amarela ao solo (2,5Y - 10YR) na ausência de hematita, enquanto, na segunda, a cor é avermelhada (2,5YR - 5R), mesmo quando ela aparece em pequenas quantidades (KÄMPF et al., 1988).

As rochas e sedimentos, que formam o material de origem dos solos, são constituídas de minerais. Os minerais máficos (ricos em Mg e Fe) podem dar origem a solos com elevados teores de óxidos de Fe. Mesmo não sendo a rocha relativamente rica em minerais máficos os processos de formação do solo nas áreas tropicais promovem a concentração residual de óxidos de Fe e de Al. Solos originados de material pobre em minerais máficos tendem a ser mais pobres em óxidos de Fe e de Al, fixando menos fósforo (RESENDE et al., 1997).

A gibbsita tem alto poder adsorvente, o que pode compensar o efeito dos óxidos de Fe, isto é, pode ser um solo relativamente pobre em óxidos de Fe e rico em gibbsita e, portanto, com alta capacidade de adsorção de fósforo. A goethita tende a adsorver mais fósforo do que a hematita (BAHIA et al. 1983, SOUZA et al., 1991), mas nem sempre isto acontece (LEAL; VELLOSO, 1973, CORRÊA, 1984), havendo até registro de situação em que a hematita adsorve mais fósforo (GUALBERTO et al., 1987). É fundamental considerar a textura, ao lado do conteúdo de óxidos (de Fe e de Al), nesses processos de fixação de fósforo. Em condições comparáveis, solos mais argilosos apresentam maior fixação de fósforo (RESENDE et al., 1997).

O fenômeno da adsorção de fósforo em solo, apesar de conhecido há mais de um século e de ser um dos temas mais estudados no campo da ciência do solo, ainda mostra vários desdobramentos a serem esclarecidos, o que sugere a necessidade de novos estudos (BAHIA FILHO, 1982). Isso é particularmente válido para o Brasil, em função do grande domínio dos Latossolos, solos estes reconhecidamente grandes fixadores de fósforo (CAMARGO et al., 1988).

Não obstante o reconhecimento destes solos como fixadores de fósforo, este comportamento é bastante diferenciado e influenciado pela composição mineralógica da fração argila dos latossolos (RESENDE, 1976).

Embora seja relativamente grande a quantidade de trabalhos na literatura correlacionando a mineralogia com a adsorção de fósforo, muitas dúvidas ainda persistem quanto à natureza específica deste ou daquele mineral em adsorver fósforo. É conhecida, entretanto a

preponderância dos óxidos de ferro nos fenômenos de adsorção de fósforo pelo solo, ainda que com divergência na literatura a respeito de qual óxido é mais eficiente na adsorção (KER et al., 1996).

2.5. Bioindicadores da qualidade do solo

A base científica que respalda a busca por indicadores de qualidade do solo é a compreensão de que esses indicadores estão direcionados para a avaliação e ou o monitoramento das condições do solo que o tornam um corpo vivo (DUMANSKI; PIERI, 2000). De outra forma, esses indicadores específicos desta escala devem ter a capacidade e a sensibilidade para medir e avaliar atributos e processos do solo que interfiram na promoção da sua vida. As práticas de manejo que adicionam ou mantêm carbono orgânico no solo parecem estar entre as mais importantes para restabelecer, manter ou melhorar a qualidade do solo (KARLEN et al., 1997).

A regulação da biota sobre a decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, degradação de poluentes químicos e a sua forte influência sobre a estrutura do solo faz com que esses microrganismos e esses processos sejam naturalmente escolhidos como indicadores da saúde ou qualidade do solo (JENKINSON; LADD, 1981, KENNEDY, 1995, LYNCH, 1985).

Dando uma visão geral do estudo da biota de solo, Papendik et al. (1992) explicam que ela pode ser estudada ao nível de organismos (pela presença ou ausência de determinadas espécies, ou pela biomassa dessas espécies) ou em nível de comunidade (biomassa e atividade respiratória do solo, grupos funcionais).

Em relação ao fósforo, a compreensão sobre os processos biológicos é limitada (OEHL et al., 2001), porque os estudos sobre sua disponibilidade têm se concentrado na dinâmica da fase inorgânica (REINHEIMER et al., 1999). Portanto, levando-se em consideração a atividade microbiana e sua importância na dinâmica do fósforo no solo, medidas da biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente metabólico e a atividade de enzimas permitem aferir melhor o comportamento da comunidade microbiana, uma vez que essa atividade auxilia, de modo direto ou indireto, os processos em que o fósforo está envolvido (MOLTOCARO, 2007).

A quantificação da biomassa microbiana é indispensável, pois esta apresenta papel fundamental dentro dos ciclos geoquímicos dos elementos de interesse para a produtividade agrícola e para a ecologia (FERNANDEZ et al., 1995). É evidente a carência de estudos que

avaliem a participação dos microrganismos nos processos de fertilização natural de solos mineralogicamente pobres (GRISI, 1984).

A taxa de respiração basal do solo consiste na medida da produção de CO₂ resultante da atividade metabólica no solo de microrganismos, de raízes vivas e de macrorganismos, como minhocas, nematóides e insetos (PARKIN et al., 1996). Paul et al. (1999) colocam que sua interpretação deve ser feita com cautela. Uma alta atividade respiratória pode resultar tanto de uma grande reserva de substratos de carbono lábeis, onde a decomposição da matéria orgânica é intensa, como da rápida decomposição de uma pequena reserva decorrente, por exemplo, de quebra de agregados do solo promovida pela aração. Desse modo, altas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio ecológico (como a incorporação de resíduos) como um alto nível de produtividade do ecossistema (ISLAM; WELL, 2000).

O metabolismo microbiano é um dos principais processos reguladores da transformação de nutrientes no solo. Entre as formas de avaliação da atividade metabólica da microbiota do solo, destaca-se a quantificação de carbono pela liberação de CO₂, conhecida por respiração do solo (STOTZKY, 1965). No entanto, a atividade dos microrganismos está estritamente relacionada com fatores ambientais, como temperatura, umidade, pH, nutrientes e matéria orgânica (STOTZKY; NORMAN, 1961, ATLAS; BARTHA, 1993). Em particular, o nitrogênio e o fósforo são os principais nutrientes exigidos no metabolismo devido às demandas estruturais e funcionais das células (SYLVIA et al., 1999).

O quociente metabólico (qCO_2) pode ser apontado como um indicador de estresse microbiano, pois ele expressa a energia necessária para a manutenção da atividade metabólica em relação a energia necessária para a síntese da própria biomassa (BARDGETT; SAGGAR, 1994). A razão carbono microbiano e carbono orgânico de um solo indicam a qualidade da matéria orgânica (WARDLE, 1994) e, de acordo com Spaling (1992), pode-se monitorar a dinâmica da matéria orgânica do solo usando-se a razão entre o carbono microbiano (Cmic) e o carbono orgânico (Corg) chamada quociente microbiano. O quociente microbiano ($qMic$) refere-se à relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total do solo e é um índice bastante utilizado para fornecer indicações sobre a dinâmica da matéria orgânica, expressando a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono orgânico do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1989).

2.6. Fungos micorrízicos arbusculares

Atuando de forma relevante sobre a comunidade vegetal, observa-se a influência da comunidade fúngica na nutrição mineral de plantas, principalmente para nutrientes que se movimentam por difusão (pequena distância) na solução do solo, como o fósforo. Os fungos que formam as micorrizas arbusculares (FMA) pertencem ao filo Glomeromycota, sendo identificados, atualmente, cerca de 160 espécies. Esses fungos formam associação simbiótica mutualística com as raízes da maioria das espécies de plantas superiores (SMITH; READ, 1997) e, por serem simbiotróficos obrigatórios, somente completam seu ciclo de vida em simbiose com a planta hospedeira (SIQUEIRA et al., 1985). Deste hospedeiro, o fungo obtém carboidratos e outros fatores essenciais ao seu desenvolvimento e esporulação, enquanto a planta hospedeira recebe, em troca, água e nutrientes inorgânicos absorvidos do solo, além de benefícios como aumento no volume e longevidade de raízes e na resistência à patógenos, ou na redução do estresse hídrico (SMITH; READ, 1997).

Apesar das micorrizas arbusculares serem consideradas uma regra, e não uma exceção, na natureza, estima-se que possam ser encontradas em mais de 80% das espécies vegetais superiores, o grau de benefício com a simbiose varia entre e dentro das espécies dos parceiros e pode receber influência do ambiente (KOIDE, 1991). Esta simbiose torna-se mais importante quanto maiores as dificuldades ou o nível de estresse como condições nutricionais sub-ótimas impostas pelo ambiente ao adequado desenvolvimento das plantas, principalmente em ambientes naturais (SMITH; READ, 1997).

Os fungos micorrízicos diferem na maneira e na intensidade com que colonizam as raízes, sendo que alteração das condições do solo pode modificar a composição das espécies presentes (ABBOTT; GAZEY, 1994). Essa interação entre comunidade vegetal e comunidade fúngica é relevante para os agroecossistemas, sobretudo aqueles que envolvem rotação de culturas e culturas intercalares (MIRANDA et al., 2005). Devido à suplementação na capacidade de absorver nutrientes do sistema radicular da planta, os FMA são os simbiontes que podem estimular o crescimento das plantas pelo aumento na absorção de nutrientes, maior tolerância à condição de deficiência hídrica, tolerância da planta a metais pesados, em locais contaminados e resistência aos patógenos do solo (SILVEIRA, 1992). Além disso, a micorriza pode causar mudanças qualitativas e quantitativas nas populações de outros microrganismos do solo, como dos solubilizadores de fosfato de rocha.

As micorrizas diferem na eficiência para a absorção de fósforo em função das concentrações no solo, pois a contribuição relativa desses fungos foi estimada em 77 e 49% para solos com baixos e altos níveis de fósforo, respectivamente (THINGSTRUP et al., 2000). Pereira et al. (1996), trabalhando com *Glomus etunicatum* em espécies arbóreas, observaram que, mesmo com menores teores de fósforo na parte aérea, as plantas se desenvolveram mais, superando o tratamento de 360 mg P kg^{-1} , e que, nas plantas micorrizadas o aumento na concentração de nitrogênio em 2,6 vezes e a de fósforo, em 1,5 vezes.

Em se tratando de ambiente em que todos os fatores se interagem, não se deve deixar de citar o benefício dos fungos solubilizadores de fosfatos que, de maneira direta pode, também, auxiliar a micorriza na absorção do fósforo. A solubilização por atividade microbiana ou radicular aumenta a disponibilidade de fósforo no solo, que, uma vez absorvido pelo micélio externo do fungo, será translocado pela hifa fúngica até a raiz da planta hospedeira (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Esse auxílio pode ser devido ao aumento da colonização micorrízica das raízes, visto que os fungos solubilizadores de fosfatos produzem produtos metabólicos específicos como vitaminas, aminoácidos e hormônios (BAREA et al., 1989).

2.7. Fungos solubilizadores de fósforo

Um crescente interesse tem surgido em relação à importância da diversidade microbiana edáfica, já que os microrganismos desempenham papel fundamental na manutenção da qualidade do solo (GARBEVA et al., 2004).

Uma parcela importante da comunidade microbiana edáfica possui a habilidade de mineralizar fosfatos orgânicos e solubilizar fosfatos inorgânicos, permitindo a liberação de fósforo assimilável pelas plantas (SILVA FILHO, 1998). Tais microrganismos apresentam potencial de utilização como inoculante, já que podem maximizar o desenvolvimento vegetal (SAHIN et al., 2004, SOUCHIE et al., 2006). Segundo Silva Filho (1998), a população de microrganismos solubilizadores de fosfatos existentes nos solos está entre 10^4 e 10^7 g^{-1} de solo, variando conforme o local e o método de avaliação.

Dentre os microrganismos do solo, os solubilizadores de fosfatos inorgânicos desempenham importante papel no suprimento de fósforo para as plantas (SILVA FILHO; VIDOR, 2001), apresentando potencial de uso na forma de inoculante (SILVA FILHO et al.,

2002, SOUCHIE et al., 2006). Diversos autores (OMAR, 1998, KIM et al., 1997) relatam que a solubilização de fosfatos é correlacionada com a habilidade de produção de ácidos orgânicos e/ou polissacarídeos extracelulares pelos microrganismos. Por exemplo, Reyes et al. (1999) encontraram correlação positiva entre a solubilização mineral de fosfato por *Penicillium rugulosum* e a produção de ácido glucônico ou cítrico.

A presença destes microrganismos tem sido constatada na maioria dos solos (JONES et al., 1991, NAHAS et al., 1994b), sendo uma parcela importante desta comunidade microbiana hábil em mineralizar fosfatos orgânicos e solubilizar fosfatos inorgânicos, liberando fósforo assimilável para as plantas (SILVA FILHO, 1998), maximizando o desenvolvimento vegetal (SAHIN et al., 2004). Entre as populações fúngicas com potencial para solubilização destacam-se os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* (SILVA FILHO et al., 2002). Investigando alternativas para a obtenção de fósforo solúvel, Nahas et al. (1990) demonstraram a possibilidade de produção de $1,2 \text{ g L}^{-1}$ de fosfato solúvel pela ação de *Aspergillus niger* sobre fluorapatita em meio de vinhaça.

As populações de microrganismos solubilizadores e sua capacidade de solubilização de fosfato têm mostrado estar intimamente relacionadas ao tipo e ao manejo do solo (NAHAS et al., 1994b), a espécie e a idade da planta (ODUNFA; OSO, 1978), a espécie de microrganismo, os tipos de fosfato e a fonte de carbono (SILVA FILHO; VIDOR, 2001). O sinergismo entre fungos solubilizadores e micorrízicos na solubilização de fósforo foi relatado por Souchie et al. (2006), os quais concluíram que *Trifolium platense* foi favorecida pela inoculação de *Aspergillus* sp. (PSF7), *Glomus clarum* e *Glomus glosporum*, evidenciando a relação positiva entre esses microrganismos.

O uso desses microrganismos depende do conhecimento de suas características, entre as quais a capacidade de solubilização, é uma das mais importantes no processo de seleção. Ela varia com o microrganismo e as condições do ambiente. Entre os fatores ambientais, o tipo de fosfato e a fonte de carbono estão entre os mais estudados (SILVA FILHO; VIDOR, 2001).

2.8. Fosfatase ácida vegetal

A expressão do potencial produtivo de uma cultivar é exteriorizada de acordo com seu grau de adaptação aos ambientes, muitas vezes adversos às condições ideais para seu desenvolvimento. O processo produtivo, neste caso, é acionado por mecanismos químicos e fisiológicos, envolvendo sintetados, enzimas e hormônios, para que a planta complete seu

desenvolvimento. Em ambientes pobres em fósforo, um dos mecanismos envolvidos é a produção de fosfatase ácida (OLIVEIRA et al., 1999).

Fosfatase é um termo genérico atribuído a um conjunto de enzimas extracelulares de plantas ou microrganismos, que promovem a desvinculação do fósforo de compostos orgânicos. Sua produção é resultado de modificações bioquímicas a nível celular desencadeadas pela diminuição da absorção de fósforo pelos organismos (RHAGHOTHAMA, 1999). Esta enzima, pode ser constitutiva ou induzida por fatores externos como deficiência de fosfato inorgânico ou dificuldade de absorver fósforo em condições de falta de água. A quantidade de fosfatase na planta aumentam quando os sistemas têm baixos teores de fósforo disponível (TROLLDENIER, 1992, CLARHOLM, 1993, OBERSON et al., 1996, CONTE, 2001).

A atividade da fosfatase ácida, segundo Tarafdard et al. (1981), apresenta uma correlação significativa com o fósforo inorgânico. Quanto menor o teor de fósforo inorgânico no tecido, maior a atividade da fosfatase ácida no mecanismo do uso de fósforo pelas plantas (FREITAS, 1995). Assim, o aumento da atividade da fosfatase ácida parece ocorrer em virtude de um incremento na síntese da enzima, mas sua formação é inibida pelo íon fosfato, pelo mecanismo da retroinibição (REID; BIELESKI, 1970).

Vários trabalhos têm mostrado que a deficiência de fósforo nas plantas leva ao aumento da atividade da fosfatase ácida (GARCIA; ASCENCIO, 1992). Antibus; Lesica (1990) relataram que a atividade da fosfatase ácida correlacionou-se positivamente com o conteúdo de fósforo vascular de epífitas, enquanto Silva; Basso (1993) verificaram correlação negativa entre atividade *in vivo* da fosfatase ácida com o crescimento e as quantidades de fósforo acumuladas pela parte aérea e subterrânea de cana-de-açúcar.

Desta forma, a determinação da atividade de fosfatases, para algumas espécies vegetais, pode ser utilizada como uma ferramenta de diagnose nutricional, prevendo deficiência de P nas plantas antes do aparecimento dos sintomas visuais de deficiência (BESFORD, 1979). No entanto, para ser utilizada como ferramenta de diagnose da nutrição fosfatada, é necessário o estabelecimento de padrões para as diversas espécies de plantas e a parte da planta a ser amostrada (ASCENCIO, 1994).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de instalação do experimento e descrição dos solos utilizados

O experimento foi conduzido no período de 17/11/2008 a 17/02/2009 em casa de vegetação na Faculdade de Engenharia da UNESP- Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira junto ao Departamento de Fitossanidade Engenharia Rural e Solos. Os solos utilizados foram coletados na camada de 0-0,20 m na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da UNESP, localizada no município de Selvíria-MS.

Foram utilizados quatro latossolos, escolhidos por conterem diferentes teores de óxidos de ferro e alumínio, por serem encontrados na região e por pertencerem ao bioma Cerrado *sensu stricto*, como seguem: LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico, A moderado, textura argilosa coletado numa área de rotação milho- soja- sorgo em plantio convencional e que não estava sob cultivo na ocasião da coleta; LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, A moderado, textura argilosa coletado numa área de rotação milho- soja- sorgo em plantio direto e que não estava sob cultivo na ocasião da coleta; LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, A moderado, textura argilosa, sob vegetação natural preservada; e LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, A moderado, textura muito argilosa coletado numa área de produção de algodão em plantio convencional e que não estava sob cultivo na ocasião da coleta. A caracterização mineralógica (MALTONI, 1994) esta apresentada na Tabela 1.

Para caracterização inicial dos solos, uma amostra dos solos coletados e homogeneizados foi submetida à caracterização química, seguindo metodologia proposta por Raij; Quaggio (1983) e os resultados estão apresentados na Tabela 2. Com base nos resultados destas análises foi realizada a correção básica, recomendada para a cultura do milho, assegurando que o desenvolvimento das plantas não fosse comprometido por possíveis deficiências nutricionais. Os solos receberam: LVAd- 60 kg ha⁻¹ de uréia, 70 kg ha⁻¹ de super fosfato triplo; LVd1- 60 kg ha⁻¹

de uréia, 50kg ha⁻¹ de super fosfato triplo; LVd2- 3,75 t ha⁻¹ de calcário, 60 kg ha⁻¹ de uréia, 90 kg ha⁻¹ de super fosfato triplo e 20 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio e LVd3- 2,35 t ha⁻¹ de calcário, 60 kg ha⁻¹ de uréia, 50 kg ha⁻¹ de super fosfato triplo. No entanto, a adubação fosfatada não foi realizada nas unidades experimentais que receberam *G. clarum* e *A. niger*, visando o aproveitamento do fósforo não lábil do solo pela ação dos fungos inoculados (solubilizador e micorrízico) em solos com diferentes teores de óxidos de ferro e alumínio. Considerou se, portanto, as unidades experimentais que receberam a adubação fosfatada como controle fosfatado.

Tabela1. Caracterização mineralógica dos quatro latossolos, coletados na camada de 0-0,20 m na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da UNESP, localizada município de Selvíria-MS.

Classificação do solo	Legenda	Caulinita	Gibsitita	Goethita	Hematita	-----%-----					
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico, A moderado, textura argilosa	LVAd	74,2	4,8	17,1	3,4						
LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, A moderado, textura argilosa	LVd1	66,9	3,0	7,5	17,4						
LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, A moderado, textura argilosa, sob Cerrado	LVd2	76,3	3,5	2,5	11,4						
LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, A moderado, textura muito argilosa	LVd3	66,2	3,7	7,1	17,9						

Tabela 2. Caracterização inicial dos solos para fósforo (P-resina), matéria orgânica (MO), potencial de hidrogênio (pH), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V %).

Trat.	P	MO	pH	K	Ca	Mg	(H+Al)	Al	SB	CTC	V
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	-----mmol _c dm ⁻³ -----							
LVAd	12	29	5,1	4,4	24	18	31	0	46,4	77,4	60
LVd1	17	34	5,1	5,1	27	20	31	0	52,1	83,1	63
LVd2	3	41	4,2	0,8	10	6	47	10	16,8	63,8	26
LVd3	20	29	4,6	3,6	14	12	38	4	29,6	67,6	44

Parte do solo amostrado foi empregada para avaliação inicial do número de esporos de FMA existente nas áreas. Para esta análise foram utilizados 100 g de solo inicialmente peneirado, de onde os esporos dos FMA foram separados e coletados segundo uma associação de métodos de decantação e peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) e de centrifugação e flutuação com sacarose (JENKINS, 1964). Cada amostra foi misturada em 1 L de água em um béquer e agitada vigorosamente. Após decantação por alguns minutos para sedimentação das partículas maiores e ou mais densas que os esporos o sobrenadante foi passado por duas peneiras com aberturas de 710 e 50 μm na seqüência da maior para a menor abertura da malha, e o procedimento foi repetido 4 vezes. Com o auxílio de uma pisseta o material depositado na peneira de 50 μm foi recolhido, transferido para tubos e centrifugado por 3 minutos a 1200 rpm. O sobrenadante foi cuidadosamente descartado e o precipitado ressuspensão em sacarose 50% para novamente ser centrifugado por mais 1 minuto. Os esporos presentes no sobrenadante foram transferidos para a peneira de malha de 50 μm , lavados com água em abundância, para retirar o excesso de sacarose e recolhidos em um béquer. A contagem dos esporos de FMA foi realizada usando uma placa de acrílico com anéis concêntricos, sob microscópio estereoscópico. Os resultados encontrados foram os que seguem: 73 esporos solo^{-1} seco para LVAd, 67 esporos solo^{-1} seco para LVAd1, 151 esporos solo^{-1} seco para LVAd2 e 62 esporos solo^{-1} seco para LVAd3

3.2. Delineamento experimental, multiplicação e inoculação de *Glomus clarum* e *Aspergillus niger*

O experimento foi montado com delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 4, os quais foram constituídos de 4 diferentes solos e 4 tratamentos de inoculação (*G. clarum*, *A. niger*, *G. clarum* + *A. niger* e o controle não inoculado, mas que recebeu adubação fosfatada) com 6 repetições, sendo cada repetição constituída por 4 plantas.

Para a instalação do experimento, os solos foram depositados em jardineiras plásticas (16 x 45 x 20 cm), com capacidade para 9 dm^3 . O FMA utilizado foi o *G. clarum* que faz parte da coleção da Dr^a. Elke Jurandi Bran Nogueira Cardoso – ESALQ/Piracicaba e foi multiplicado em *Brachiaria decumbens*, em casa de vegetação. O substrato foi constituído que uma mistura de areia e solo de área de cerrado preservado (1:3), esterilizado em vapor (100 °C) em autoclave, por 3 vezes, com intervalos de 48 horas. Após 75 dias da semeadura da braquiária, o solo-inóculo foi analisado e os esporos quantificados. A inoculação do experimento consistiu na aplicação de

solo-inóculo com cerca de 200 esporos do fungo por jardineira, distribuídos a 3 cm de profundidade do solo.

O fungo solubilizador empregado foi o *A. niger* 19, cujo isolado faz parte da coleção do Drº. Ely Nahas, UNESP/Campus de Jaboticabal. Esse fungo foi cultivado em placas de Petri e multiplicado em arroz parboilizado cru + água destilada (1:1) autoclavados durante 20 minutos a 1 atm (121°C). Cada jardineira recebeu 10 grãos de arroz, distribuídos a 2 cm da superfície do solo.

Utilizou-se sementes de milho híbrido precoce AG 5020 semeadas em 17/11/2008, sendo 10 sementes por jardineira e 12 dias após a semeadura (d.a.s), foi realizado o desbaste, deixando 4 plantas por jardineira que foram regadas diariamente.

3.3 Análises realizadas

3.3.1 Análises das plantas

As plantas de milho, aos 90 d.a.s., foram avaliadas quanto a altura, peso da matéria fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular e teores foliares de fósforo e nitrogênio. Para isso a parte aérea e o sistema radicular foram pesados frescos e, em seguida, secos à 65°C em estufa, com circulação forçada de ar, até a obtenção de peso constante, quando foram novamente pesados para a obtenção do peso da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular.

Antes da secagem do sistema radicular, 1g de raízes, por parcela, foi separado e preservado temporariamente numa solução de álcool 50%. A parte aérea seca foi triturada em moinho tipo Wiley e submetida à análise para determinação de fósforo e de nitrogênio, no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da Faculdade de Engenharia - UNESP/Campus de Ilha Solteira, seguindo metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

Aos 90 d.a.s, segmentos do limbo foliar de algumas folhas intermediárias foram coletados para a verificação da atividade da enzima fosfatase ácida (BESFORD, 1980). Foram utilizados 100 g do material recém coletado, os quais foram incubados em 8 mL de paranitrofenilfosfato (NPP) em tampão de acetato de sódio (pH 4,0). Após incubação por 20 minutos a 30 °C, no escuro, 5 mL da mistura foram alcalinizados com 2 mL de NaOH. A quantidade de paranitrofenol

formado foi estimada por colorimetria, em espectrofotômetro a 420 nm, sendo expresso em $\mu\text{g p} - \text{NPP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

3.3.2. Caracterização química e microbiológica do solo

Uma amostra de solo de 0,35 kg por parcela (jardineira) foi coletada aos 30 d.a.s. (17/12/2008) e aos 90 d.a.s. (17/02/2009). Parte das amostras foi enviada para caracterização química, como anteriormente descrito e a outra parte foi reservada para a determinação do carbono da biomassa microbiana, do carbono do CO_2 (C- CO_2) liberado e determinação do quociente metabólico. Para contagem do número de esporos de FMA analisou-se apenas as amostras de solo aos 90 d.a.s.

3.3.2.1. Quantificação do carbono do CO_2 (C- CO_2) liberado

Para tal quantificação, utilizou-se 100 g do solo de cada unidade experimental inicialmente peneirado. Amostras foram colocadas em jarros de vidro com tampa de rosca, onde a umidade do solo foi corrigida até 70% da capacidade de campo, sendo no centro depositado um frasco contendo 10 mL de NaOH 0,1 mol L^{-1} . Os jarros foram fechados hermeticamente e mantidos dessa forma por 96 horas. O tempo de incubação foi determinado por meio da curva de calibração, resultante de um monitoramento em dias alternados. A titulação do NaOH livre, à qual foi acrescido 1 mL de solução de BaCl_2 , foi realizada empregando HCl 0,1 mol L^{-1} . O controle foi feito com jarros de vidro, sem solo, contendo frascos com NaOH. A titulação da base livre permitiu calcular, por subtração, a quantidade de CO_2 que combinou com NaOH (ANDERSON; DOMSCH, 1989).

3.3.2.2 Quantificação do carbono da biomassa microbiana (CBM)

O CBM foi avaliado pelo método de fumigação-extração (VANCE et al., 1987) que envolve a eliminação da microflora do solo pelo clorofórmio. O carbono liberado, pela morte dos microrganismos, foi determinado por extração seguido de digestão e comparado às amostras de solo não fumigadas. O carbono microbiano foi extraído, tanto do solo fumigado como do não fumigado com o emprego do extrator K_2SO_4 0,5 mol L^{-1} . Após agitação por 30 minutos e filtração em papel de filtro Whatman nº1. O carbono microbiano presente nos extratos foi

oxidado quando misturado com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$ mol L^{-1}) e ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. A mistura foi encaminhada ao bloco digestor, onde permaneceu por 30 minutos a uma temperatura de $90^\circ C$. O excesso de dicromato foi, então, titulado com sulfato ferroso amoniacal $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ utilizando difenilamina como indicador, revelando deste modo a quantidade de dicromato utilizado na oxidação e, assim, a quantidade de carbono extraída. A biomassa foi então determinada por $B = C_f - C_{nf} / K_{ec}$ onde:

C_f e C_{nf} representam o carbono extraído dos solos fumigados e não fumigados;

K_{ec} representa a proporção do total do carbono microbiano extraído após a fumigação.

3.3.2.3. Determinação do quociente metabólico (qCO_2)

A determinação do quociente metabólico (qCO_2) representa a quantidade de C- CO_2 liberada por unidade de CBM, segundo Anderson (1994) e foi estimada pela razão C- CO_2 liberado / CBM, ou seja: $mg\ C-CO_2\ g\ solo\ fresco^{-1}\ h^{-1} / mg\ biomassa - C\ g\ solo^{-1}$.

3.3.2.4. Determinação do quociente microbiano ($qMIC$)

A determinação do quociente microbiano ($qMIC$) foi calculado pela expressão $(CBM/Corg\ do\ solo) / 10$, de acordo com Sparling (1992).

3.3.2.5. Contagem de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Para esta análise foram utilizados 100 g de solo inicialmente peneirado, de onde os esporos dos FMA foram separados e coletados segundo uma associação de métodos de decantação e peneiramento úmido como anteriormente descrito.

3.3.2.6. Porcentagem de colonização micorrízica

Para a determinação da porcentagem da colonização micorrízica, as raízes coletadas de cada unidade experimental (um grama) foram lavadas em água corrente, cortadas no comprimento de 1 cm, clarificadas em KOH 10%, acidificadas com HCL 1% a $90^\circ C$, coloridas com azul de tripano 0,05% e preservadas em lactoglicerol (PHILLIPS; HAYMAN, 1970). A

verificação da porcentagem de segmentos colonizados foi realizada em placa quadriculada onde 100 segmentos foram avaliados por repetição, por tratamento (GIOVANETTI; MOSSE, 1980), sob microscópio estereoscópico (40x).

3.4. Análise dos dados

Os dados foram analisados estatisticamente por comparação de médias entre os tratamentos, com desdobramento nas interações significativas. O teste de Tukey foi empregado após a análise de variância e a análise de correlação foi feita para todos os parâmetros. Para tanto utilizou se programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Atributos do solo

Diferenças significativas em relação às épocas de amostragem foram observadas para os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases do solo (Tabela 3). Estes foram maiores na primeira época de amostragem, ou seja, 30 d.a.s. Esse resultado era esperado diante do consumo de nutrientes previsto para a planta ao longo do seu crescimento e em virtude da lixiviação de potássio, cálcio e magnésio. Stipp; Yamada (1988) afirmaram que a reserva contida nas sementes é suficiente para as necessidades iniciais das plantas; assim, nas três primeiras semanas quase não há absorção de minerais do solo, sendo os elementos contidos nas sementes mobilizados e translocados para raízes e parte aérea. Acerca da lixiviação, Santos et al. (2002) afirmaram, ao avaliarem os efeitos de diferentes formas de manejo da água e da aplicação do fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado, que a redução da fertilidade do solo se deve, entre outros fatores, à ocorrência da lixiviação de nutrientes causada pela percolação excessiva da água e que a mesma determina perda de nutrientes da zona radicular, tornando-os indisponíveis às culturas.

O fósforo e o alumínio apresentaram comportamento homogêneo entre os diferentes solos (Tabela 3), no entanto, no LVd2, observaram-se os maiores valores para cálcio, magnésio, soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases. A acidez potencial apresentou diferenças significativas entre as diferentes épocas de amostragem e entre solos (Tabela 3). Onde o LVd1 mostrou os maiores valores para essa variável, enquanto que LVAd, LVd2 e LVd3, além de apresentarem valores menores que o LVd1, não diferiram entre si. Essas diferenças ocorreram, provavelmente, em função da soma de bases. Verificou-se, ainda, uma correspondência inversa entre a soma de bases e a acidez potencial (Tabela 3), ou seja, a soma de bases aumentou conforme acidez potencial diminuiu e vice-versa. Além disso, detectou-se correlação significativa

e negativa entre a acidez potencial e a soma de bases (-0,71*), a CTC (-0,54*) e a saturação por bases (-0,90*) (Apêndice A).

Tabela 3. Médias e valores de F para fósforo (P-resina), matéria orgânica (MO), potencial de hidrogênio (pH), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V %), nas diferentes épocas e tipos de solos em função dos tratamentos.

Fontes de variação		P	MO	pH	K	Ca	Mg	(H+Al)	Al	SB	CTC	V	
		resina											
		mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³								%
Épocas (E)	30 d.a.s.	31a	24b	5,6a	2,5a	37a	28a	25b	0	67,6a	93,1a	71a	
	90 d.a.s.	18b	32a	5,5b	0,8b	30b	20b	28a	0	51,7b	79,9b	64b	
Solos (S)	LVAd	24	27b	5,5a	1,8b	32b	21b	26b	0	55,0b	81,6b	67bc	
	LVd1	24	29a	5,4b	2,2a	31b	20b	29a	0	54,1b	83,4b	65c	
	LVd2	23	30a	5,6a	1,2c	37a	29a	25b	0	68,1a	93,3a	71a	
	LVd3	25	24c	5,6a	1,5c	32b	27a	26b	0	61,4ab	87,8ab	68ab	
Tratamentos (T)	Micorriza	34a	27b	5,5	1,6	35	25	27	0	62,5	89,4	67	
	<i>Aspergillus</i>	14b	29a	5,5	1,7	33	24	27	0	58,5	85,4	68	
	M+A	14b	27b	5,5	1,6	33	26	27	0	60,2	87	67	
	Controle	35a	28ab	5,5	1,7	33	23	27	0	57,7	84,5	67	
E		84,44 ^{**}	414,57 ^{**}	20,32 [*]	447,88 ^{**}	39,02 ^{**}	61,16 ^{**}	37,19 ^{**}	6,08 [*]	62,40 ^{**}	51,91 ^{**}	70,40 ^{**}	
S		0,34 ^{ns}	42,24 ^{**}	10,07 [*]	25,83 ^{**}	6,46 ^{**}	21,48 ^{**}	15,02 ^{**}	3,78 [*]	10,42 [*]	8,05 ^{**}	7,96 ^{**}	
T		72,49 ^{**}	5,32 ^{**}	0,21 ^{ns}	1,36 ^{ns}	1,37 ^{ns}	1,44 ^{ns}	0,01 ^{ns}	3,97 ^{**}	1,08 ^{ns}	1,33 ^{ns}	0,45 ^{ns}	
E x S		1,07 ^{ns}	4,56 ^{**}	34,48 ^{**}	14,02 ^{**}	17,97 ^{**}	21,93 ^{**}	60,44 ^{**}	6,08 ^{**}	18,67 ^{**}	8,68 ^{**}	39,11 ^{**}	
E x T		31,84 ^{**}	1,10 ^{ns}	2,46 ^{ns}	1,20 ^{ns}	2,43 ^{ns}	3,78 [*]	4,10 ^{**}	3,97 ^{**}	3,01 [*]	2,24 ^{ns}	3,25 [*]	
S x T		0,92 ^{ns}	1,76 ^{ns}	1,09 ^{ns}	2,08 [*]	0,92 ^{ns}	1,42 ^{ns}	0,86 ^{ns}	1,86 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,08 ^{ns}	1,11 ^{ns}	
E x S x T		2,15 [*]	1,20 ^{ns}	1,98 [*]	0,82 ^{ns}	1,98 ^{ns}	3,47 ^{**}	2,39 [*]	1,92 ^{ns}	2,48 [*]	2,04 [*]	2,97 ^{**}	
CV%		38,8	9,43	4,04	34,73	22,48	26,59	11,37	347,9	23,4	14,71	8,86	

Médias seguidas de mesma letra, na coluna e dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{**} e ^{*}: significativo a 1 e 5%, respectivamente. ^{ns}: não significativo. Micorriza: inoculação com *Glomus clarum*; *Aspergillus*: inoculação com *Aspergillus niger*; M+A: inoculação com *G. clarum* e com *A. niger*. Controle fosfatado: não inoculado. d.a.s.: dias após semeadura.

Corroborando estes resultados, Heringer et al. (2002), ao estudarem a taxa de cobertura, umidade volumétrica e características químicas do solo sob pastagem natural e distintas condições de manejo, mostraram que o retorno da palha por meio da roçada contribuiu para um acréscimo na quantidade de bases no solo, reduzindo a acidez potencial.

Dentre os tratamentos aplicados aos solos, as diferenças não foram significativas para fertilidade, exceto para o fósforo, onde o maior valor no solo foi verificado no controle fosfatado e no tratamento inoculado com FMA (Tabela 3). Lima et al. (2007), ao investigarem o efeito da conversão de áreas de caatinga em agricultura e pecuária sobre os propágulos de FMA, encontraram uma menor colonização radicular nas amostras de solo com teores de P-resina

inferiores a $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo, comparando com amostras com teores de fósforo entre 1,5 e 6 mg kg^{-1} solo, indicando que o fungo micorrízico desencadeou um processo que resultou em incremento de fósforo no solo.

Assim como no presente trabalho, autores têm relatado elevação nos teores de fósforo nas plantas em tratamentos com inoculação com FMA. Bolan (1991), fazendo uma análise crítica sobre o papel dos fungos micorrízicos na absorção de fósforo pelas plantas, afirmou que a maior parte das informações indica que os FMA têm acesso às mesmas fontes de fósforo que a planta, porém certamente exploram essas fontes mais eficazmente. Apenas o fato de aumentarem sensivelmente a absorção de fósforo, reduzindo a sua concentração na solução do solo, já implica maior liberação de fósforo da fase sólida, para que o equilíbrio químico entre as fases sólida e líquida do solo seja mantido.

Marschner (1998), estudando a micorriza arbuscular e os exsudatos de raiz na eficiência da aquisição de nutrientes, relatou que as hifas de FMA podem exsudar substâncias orgânicas capazes de auxiliar na disponibilização de nutrientes. Muthukumar et al. (2001) avaliando a inoculação de mudas de Nim (*Azadirachta indica* A. Juss) com *Glomus intraradices*, *Glomus geosporum*, *Azospirillum brasilense* e fosfato de bactérias, consideraram que o efeito solubilizador indireto provavelmente é obtido pelo estímulo dos FMA a outros microrganismos com capacidade de solubilizar nutrientes em formas insolúveis.

Deve-se, também, levar em conta o fluxo de fósforo via FMA, onde o nutriente é transformado em grânulos de polifosfato hidrólizados pelas fosfatases, liberando fósforo inorgânico que é transferido para o hospedeiro (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Pode-se atribuir, ainda o incremento de fósforo no tratamento inoculado apenas com *G. clarum*, aos exsudatos liberados pelas hifas do FMA, que provavelmente favoreceram a proliferação de microrganismos solubilizadores de nutrientes em formas insolúveis, dentre eles o fósforo, além do aumento da atividade de enzimas extracelulares na rizosfera das raízes micorrizadas e aos grânulos de polifosfato, cujo fósforo pode ter sido quantificado na análise química do solo.

A interação épocas de amostragem e os diferentes solos apresentou diferenças estatísticas significativas para Ca, Mg, SB e CTC, com os menores valores encontrados aos 90 d.a.s, nos solos LVd2 e LVd3 (Tabela 4). Para matéria orgânica, os maiores valores também foram verificados aos 90 d.a.s. para todos os solos, especialmente no LVd1 e LVd2. Ocorreram correlações positivas entre a matéria orgânica e o carbono liberado (0,42*), o carbono de

biomassa microbiana (0,38*), o quociente metabólico (0,26*) e a altura das plantas (0,28*) (Apêndice A).

Tabela 4. Desdobramento das interações significativas para matéria orgânica (MO), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V) entre diferentes épocas amostragem e tipos de solos.

Solos	30 d.a.s.	90 d.a.s.	30 d.a.s.	90 d.a.s.	30 d.a.s.	90 d.a.s.
	MO ----- g dm ⁻³ -----		pH ----- CaCl ₂ -----		K ----- mmol _c dm ⁻³ -----	
LVAd	25bA	31aB	5,43bB	5,63aA	2,9aA	0,7bA
LVd1	25bA	34aA	5,32bB	5,47aAB	3,3aA	1,0bA
LVd2	26bA	35aA	5,89aA	5,32bB	1,7aC	0,7bA
LVd3	21bB	28aC	5,80aA	5,43bB	2,2aB	0,8bA
	Ca ----- mmol _c dm ⁻³ -----		Mg ----- mmol _c dm ⁻³ -----		H+Al	
LVAd	32aC	33aA	21aC	21aA	29aA	24bB
LVd1	31aC	32aA	21aC	21aA	30aA	29aA
LVd2	47aA	28bA	39aA	21bA	20bC	30aA
LVd3	38aB	28bA	32aB	22bA	23bB	30aA
	SB ----- mmol _c dm ⁻³ -----		CTC		V (%) ----- % -----	
LVAd	55,9aC	54,3aA	84,8aC	78,6aA	66aC	69aA
LVd1	53,1aC	55,2aA	85,1aC	81,7aA	65aC	65aAB
LVd2	87,0aA	49,4bA	107,0aA	79,7bA	81aA	61bB
LVd3	72,7aB	50,2 bA	95,9aB	79,7bA	74aB	62 bB

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. d.a.s.: dias após semeadura.

Alguns autores fizeram considerações semelhantes, como Costa; Lovato (2004) que, ao avaliar o efeito de plantas de cobertura micorrízicas e não micorrízicas nos aspectos biológicos da dinâmica do fósforo em sistemas sob plantio direto, afirmaram não poderem ignorar os processos de transformação das frações orgânicas, considerando os efeitos e interações dos fungos micorrízicos e da biota do solo. No presente trabalho, considerando que não houve adição orgânica, o aumento observado para matéria orgânica pode ter sido decorrente do incremento de microrganismos oriundos da inoculação de *A. niger* e da micorrização com *G. clarum* e influência destes no crescimento do milho, conseqüência dos resíduos deixados no solo (Tabela 4).

Os maiores teores de potássio foram encontrados no LVAd inoculado com *G. clarum* + *A. niger* e no LVd1, em todos os tratamentos (Tabela 5), sugerindo a contribuição destes na disponibilização de potássio. Resultados semelhantes foram apresentados por Freitas et al. (2009) em ensaios de solubilização de pós de biotita xisto, flogopitito e carbonatito, por meio de *A. niger*, onde houve aumento significativo no teor de K solubilizado, principalmente em biotita xisto. Desta forma, existe a indicação de que o *A. niger* seja capaz não somente de solubilizar fósforo como também de disponibilizar potássio no solo.

Tabela 5. Desdobramento das interações significativas para potássio (K), nos diferentes solos, em função dos tratamentos.

Tratamentos	LVAd	LVd1	LVd2	LVd3
Micorriza	1,65bAB	2,34aA	0,98cA	1,68bA
<i>Aspergillus</i>	2,02aAB	1,98aA	1,18bA	1,45abA
M+A	2,12aA	2,30aA	1,48bA	1,24bA
Controle	1,44bB	2,08aA	1,10bA	1,57abA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Micorriza: inoculação com *Glomus clarum*; *Aspergillus*: inoculação com *Aspergillus niger*; M+A: inoculação com *G. clarum* e com *A. niger*. Controle fosfatado: não inoculado.

A interação entre as épocas de amostragem e tratamentos de inoculação apresentou resultados com diferenças efetivas para P, Mg, H+Al, SB e V% (Tabela 6), com os teores das variáveis oscilando conforme o tempo, possivelmente decorrente da absorção pelas plantas, especialmente Mg, SB e V%. Os teores de fósforo decresceram da primeira (30 d.a.s.) para a segunda época (90 d.a.s.) em 24 mg dm⁻³ no controle fosfatado e 28 mg dm⁻³ no tratamento micorrizado, enquanto que no tratamento com inoculação de *A. niger* + FMA os teores se mantiveram constante e no tratamento com inoculação somente de *A. niger* houve um aumento de 1 mg dm⁻³ no teor de fósforo. Estes dados indicam a ocorrência de solubilização de fósforo realizada pelo fungo, uma vez que o consumo deste nutriente pela planta deveria reduzir o teor do mesmo no solo aos 90 d.a.s.

De modo análogo, Silva Filho et al. (2002), quando realizaram um ensaio sobre a capacidade e o potencial de 56 isolados de microrganismos em solubilizar fosfatos naturais, destacaram a ação dos isolados fúngicos do gênero *Aspergillus*. No entanto, existem

controvérsias em relação a sua eficiência. Banik e Dey (1982) avaliando diversos isolados de microrganismos solubilizadores, também verificaram que dois isolados do gênero *Aspergillus* foram os mais eficientes. No entanto, Nahas (1996), estudando a habilidade de 42 isolados (31 bactérias e 11 fungos) em solubilizar fosfato de rocha e fosfato de cálcio em meio de cultura, constataram que os do gênero *Penicillium* foram os mais eficientes.

Tabela 6. Desdobramento das interações significativas para soma de fósforo (P), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB) e saturação por bases (V%), nas diferentes épocas, em função dos tratamentos.

Tratamentos	30 d.a.s.		90 d.a.s.		30 d.a.s.		90 d.a.s.	
	P ----- g dm ⁻³ -----		Mg ----- mmol _c dm ⁻³ -----		H+Al			
Micorriza	48aA	20bAB	30aA	21bA	26aA	28aA		
<i>Aspergillus</i>	14aB	15aB	27aAB	22bA	26bA	28aA		
M+A	14aB	14aB	31aA	20bA	24bA	29aA		
Controle	47aA	23bA	25aB	21aA	26aA	27aA		
	SB ----- mmol _c dm ⁻³ -----		V ----- % -----					
Micorriza	73,0aA	51,9bA	73aA	64bA				
<i>Aspergillus</i>	64,6aAB	52,5bA	70aA	65bA				
M+A	71,5aAB	48,9bA	73aA	62bA				
Controle	61,7aB	53,7bA	69aA	65bA				

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Micorriza: inoculação com *Glomus clarum*; *Aspergillus*: inoculação com *Aspergillus niger*; M+A: inoculação com *G. clarum* e com *A. niger*. Controle fosfatado: não inoculado. d.a.s.: dias após semeadura.

A interação entre solos e tratamentos não mostrou diferenças estatísticas para a variável fósforo, sugerindo que a diferença entre os teores de óxidos de ferro e alumínio presentes nos solos analisados não interferiram na solubilização de fósforo pelo *A.niger* e na disponibilização desse nutriente por *G. clarum*. A inoculação com *A. niger* promoveu um pequeno incremento no teor da variável fósforo, o que pode ser atribuído ao tempo de condução do experimento (90 dias), período incipiente para obtenção de dados mais claros.

4.2. Crescimento das plantas

A altura das plantas não foi influenciada pelos tratamentos e não ocorreram diferenças significativas decorrentes das interações (Tabela 7). Houve, entretanto, correlação positiva entre matéria orgânica e altura das plantas (0,28*) (Apêndice A).

Tabela 7. Médias e valores de F para altura (ALT), matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca do sistema radicular (MFR), matéria seca do sistema radicular (MSR), fosfatase ácida vegetal (fosfatase) e teores foliares de fósforo (P) e nitrogênio (N) nos diferentes tipos de solos em função dos tratamentos.

Tratamentos		ALT	MFPA	MSPA	MFR	MSR	Fosfatase	P	N
		cm	g				$\mu\text{mPN P g}^{-1} \text{h}^{-1}$	g kg^{-1}	
Solos (S)	LVAd	1,41	292,66a	87,01	145,38ab	47,20a	8,98	0,78b	4,57b
	LVd1	1,37	308,94a	85,12	119,62bc	37,47ab	7,85	1,07a	5,58ab
	LVd2	1,43	290,85a	87,58	156,63a	46,25a	9,05	0,70b	7,05a
	LVd3	1,32	252,47b	76,70	101,28c	33,50b	858	1,06a	6,07ab
Tratamentos (T)	Micorriza	1,39	304,47a	86,46ab	146,34a	46,02a	2,97b	1,05a	5,24ab
	<i>Aspergillus</i>	1,34	257,49b	73,04c	108,59b	33,68b	10,27a	0,86ab	6,58a
	M+A	1,36	264,14b	77,76bc	125,75ab	39,28ab	3,12b	0,66b	6,81a
	Controle	1,43	318,84a	99,17a	142,22b	45,44ab	2,11b	1,05a	4,65b
S		2,26 ^{ns}	6,52 ^{**}	2,13 ^{ns}	8,07 ^{**}	4,60 ^{**}	0,99 ^{ns}	7,98 ^{**}	4,96 ^{**}
T		1,59 ^{ns}	10,29 ^{**}	10,99 ^{**}	3,83 [*]	3,46 [*]	61,78 ^{**}	7,45 ^{**}	5,06 ^{**}
S x T		0,78 ^{ns}	5,41 ^{**}	3,99 ^{**}	1,66 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,72 ^{ns}	1,20 ^{ns}
CV%		11,18	16,03	20,17	32,99	37,20	40,42	37,03	38,97

Médias seguidas de mesma letra, na coluna e dentro de cada variável não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** e *: significativo a 1 e 5%, respectivamente. ^{ns}: não significativo. Micorriza: inoculação com *Glomus clarum*; *Aspergillus*: inoculação com *Aspergillus niger*; M+A: inoculação com *G. clarum* e com *A. niger*. Controle fosfatado: não inoculado.

Os menores resultados para matéria fresca da parte aérea e fresca e seca do sistema radicular foram encontrados no LVd3, sugerindo que a textura muito argilosa do solo prejudicou o estabelecimento do sistema radicular, comprometendo o crescimento geral da planta. Rosolem et al. (1999) relataram resultado semelhante ao estudarem o efeito da interação da resistência do solo à penetração e constataram menor número de raízes seminais adventícias de milho em solos muito argilosos, o que pode comprometer o crescimento da planta.

O crescimento da planta foi semelhante nos tratamentos com micorrização e no controle fosfatado (Tabela 7), indicando que o FMA foi capaz de compensar a deficiência de fósforo. Resultados semelhantes foram reportados por Reis et al. (2008) que avaliaram, em casa de vegetação, doze genótipos de milho e a influência da inoculação de fungo micorrízico. Os autores

verificaram que a inoculação com *G. etunicatum* foi efetiva na produção de raízes quando o ambiente tinha restrição de fósforo.

A inoculação com *A. niger* não favoreceu o crescimento das plantas, pois os valores mais elevados de matéria fresca e seca de parte aérea foram verificados no tratamento inoculado com FMA e no controle fosfatado (Tabela 7). Resultados similares foram obtidos por Nahas et al. (1994b) que comparando o efeito da inoculação de microrganismo solubilizador de fosfato de rocha não observaram efeitos diferenciados pela inoculação de *A. niger* num solo adicionado de apatita de Araxá na produção de matéria seca em milho.

Ocorreram ainda resultados significativos para a fosfatase ácida vegetal onde os valores semelhantes foram encontrados no controle adubado, no tratamento micorrizado e na associação do FMA com *A. niger*, mostrando uma maior absorção e disponibilidade de fósforo (Tabela 7). Ocorreram também correlações significativas negativas entre a fosfatase ácida foliar e a altura das plantas (-0,21*) e a matéria seca da parte aérea (-0,28*) e do sistema radicular (Apêndice A). Sabe-se que a atividade da fosfatase ácida foliar é inversamente proporcional à disponibilidade de fósforo para a planta (REID; BIELESKI, 1970).

Em face disso é possível concordar com Moltocaro (2007) que estudou o efeito residual do cultivo de guandu com inoculação do fungo micorrízico, adubado com fontes de fósforo no aproveitamento do mesmo nutriente pela cultura do arroz em sucessão e afirmou que em se tratando de ambiente em que todos os fatores interagem não se deve deixar de citar o benefício dos fungos solubilizadores de fosfatos que de maneira direta pode também auxiliar a micorriza na absorção do fósforo. A solubilização por atividade microbiana ou radicular aumenta a disponibilidade de P no solo que, uma vez absorvido pelo micélio externo do fungo, será translocado pela hifa fúngica até a raiz da planta hospedeira.

Com relação aos teores foliares de fósforo e nitrogênio os tratamentos com a inoculação do fungo micorrízico e ou do fungo solubilizador promoveram resultados com diferenças significativas. Os teores de fósforo foram maiores com a micorrização e no controle fosfatado, no entanto a inoculação com *A. niger* apresentou valores estatisticamente iguais aos maiores valores encontrados para essa variável (Tabela 7). Santos et al. (2002) ao avaliarem a influência do fungo micorrízico arbuscular, P e N sobre braquiária em solo de baixa fertilidade, verificaram que para a gramínea, a micorrização promoveu maiores acúmulos de P na parte aérea. Bressan e Vasconcellos (2002) ao verificarem o efeito da inoculação de *G. etunicatum* e *G. clarum* e adição

6de P ao solo, em milho, afirmaram que, em virtude da inoculação dos fungos micorrízicos ao solo ocorreu uma importante aquisição de nutrientes minerais pelas plantas de milho, principalmente dos de baixa mobilidade no solo, como o P.

O teor de nitrogênio foliar foi maior no tratamento inoculado com *A. niger* apenas e no tratamento adicionado com os dois fungos (*A. niger* e *G. clarum*), superando o controle fosfatado (Tabela 7). Vários trabalhos têm demonstrado que as micorrizas arbusculares são eficientes em mediar a transferência de nitrogênio entre plantas (BAREA et al., 1989).

Na interação entre tratamentos de inoculação e os diferentes solos, os maiores valores para massa fresca e seca da parte aérea ocorreram no LVd2 com o controle fosfatado. No LVAd e no LVd1, entretanto resultados semelhantes foram observados nos tratamentos que receberam FMA e ou *A. niger* (Tabela 8).

Tabela 8. Desdobramento das interações significativas para matéria fresca da parte aérea (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA), nos diferentes solos, em função dos tratamentos.

Tratamentos	LVAd	LVd1	LVd2	LVd3
MFPA				
----- g -----				
Micorriza	299,76abA	342,29aA	325,24aB	250,55bA
<i>Aspergillus</i>	295,55aA	273,63abA	206,19bC	254,57abA
M+A	279,00abA	307,56aA	226,73bC	243,29abA
Controle	296,35bA	312,30bA	405,24aA	261,48bA
MSPA				
----- g -----				
Micorriza	92,25aA	81,96aA	94,73aB	76,90aA
<i>Aspergillus</i>	84,29aA	75,49abA	56,71bC	75,68abA
M+A	80,93aA	88,76aA	70,77aBC	70,58aA
Controle	90,60bA	94,31bA	128,14aA	83,66bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Micorriza: inoculação com *Glomus clarum*; *Aspergillus*: inoculação com *Aspergillus niger*; M+A: inoculação com *G. clarum* e com *A. niger*. Controle fosfatado: não inoculado.

Reis et al. (2008), na presença de inoculação com FMA, notaram, ao comparar com a ausência de inoculação, uma maior produção de matéria seca na parte aérea de milho quando houve escassez de fósforo. Resultados opostos, entretanto foram encontrados por Santos et al. (1996), que estudando o efeito da inoculação de FMA na cultura do milho, relataram que a inoculação não aumentou o rendimento de massa seca da parte aérea.

4.3. Variáveis microbiológicas

Aos 90 dias de semeadura, o carbono de CO₂ (C-CO₂) liberado, o carbono de biomassa microbiana e o quociente microbiano foram maiores que aos 30 dias (Tabela 9). Scabora (2007), de modo análogo, quando avaliou a atividade microbiana (quantificação do C-CO₂ liberado), fertilidade e a diversidade de FMA em espécies arbóreas de cerrado crescendo em áreas de cerrado degradadas, constataram uma maior atividade respiratória microbiana ao longo do tempo. Sobre isso Melloni et al. (2001) afirmaram que uma maior liberação de C-CO₂ por unidade de tempo indica que a comunidade microbiana, em certo ecossistema, esta mais ativa.

Tabela 9. Médias e valores de F para carbono liberado (C-CO₂ liberado), carbono de biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMIC$), nas diferentes épocas e tipos de solos em função dos tratamentos.

Tratamentos		C-CO ₂ liberado ($\mu\text{g CO}_2 \text{ g solo seco dia}^{-1}$)	CBM ($\mu\text{g C g}^{-1} \text{ solo seco}$)	$q \text{ CO}_2$ ($\mu\text{g CO}_2/\mu\text{g C g}^{-1} \text{ solo seco}$)	$qMIC$ (%)
Épocas (E)	30 d.a.s.	9,13b	148,61b	0,08a	1,07b
	90 d.a.s.	12,39a	267,90a	0,06b	1,46a
Solos (S)	LVAd	10,39b	207,02	0,06	1,28
	LVd1	10,52b	200,83	0,07	1,17
	LVd2	11,27a	214,27	0,07	1,19
	LVd3	10,87ab	210,90	0,07	1,43
Tratamentos (T)	Micorriza	12,58a	254,02a	0,06bc	1,56a
	<i>Aspergillus</i>	11,17c	174,96b	0,09a	1,03b
	M+A	7,62d	240,60a	0,07ab	1,47a
	Controle	11,68b	163,44b	0,05c	1,03b
E		563,39**	94,24**	36,26**	22,85**
S		8,26**	0,22 ^{ns}	0,37 ^{ns}	2,12 ^{ns}
T		252,51**	13,81**	6,36**	12,18**
E x S		7,99**	0,07 ^{ns}	1,50 ^{ns}	0,32 ^{ns}
E x T		16,21**	16,78**	13,39**	10,50**
S x T		11,23**	2,83*	2,94**	1,61 ^{ns}
E x S x T		6,13**	3,48**	1,54 ^{ns}	2,64**
CV%		8,81	40,88	41,74	43,95

Médias seguidas de mesma letra, na coluna e dentro de cada variável não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** e *: significativo a 1 e 5%, respectivamente. ^{ns}: não significativo. Micorriza: inoculação com *Glomus clarum*; *Aspergillus*: inoculação com *Aspergillus niger*; M+A: inoculação com *G. clarum* e com *A. niger*. Controle fosfatado: não inoculado. d.a.s.: dias após semeadura.

Desta forma, pode-se inferir que o estabelecimento das plantas contribuiu para o desenvolvimento dos microrganismos no solo no presente trabalho, por meio das propriedades físico-químicas da rizosfera que tem elevada estabilidade e favorecem intensa atividade metabólica das populações microbianas. No LVd2 ocorreram incrementos do C-CO₂ liberado (Tabela 9), o que pode ter ocorrido em função do aumento de matéria orgânica do solo verificado anteriormente (Tabela 3). Novamente Scabora (2007), no mesmo trabalho, sugeriu que as taxas respiratórias mais elevadas, exibidas pelo solo sob pastagem, podem ter sido decorrente do maior acúmulo de matéria orgânica nesse sistema, quando comparado ao do subsolo exposto.

Os tratamentos com inoculação de *G. clarum* proporcionaram aumentos significativos para o C-CO₂ liberado. De forma semelhante, o carbono de biomassa e o quociente microbiano foram maiores na presença de *G. clarum* ou quando os dois fungos estavam adicionados ao solo. Em contrapartida, com a inoculação apenas de *A. niger*, o quociente metabólico apresentou o maior valor (Tabela 9).

Aos 90 d.a.s, os valores de C-CO₂ liberado foram maiores nos tratamentos com inoculação, exceto no controle fosfatado. Ocorreu uma relação direta entre o quociente microbiano e o carbono de biomassa, que apresentou incrementos ao longo do tempo conforme tal quociente aumentou de uma época para outra. O quociente metabólico, no entanto, foi menor na segunda época de amostragem com menor valor com o FMA e ou *A. niger*. Para o quociente microbiano, o maior resultado ocorreu na época da segunda amostragem e sob o efeito da micorrização e ou inoculação com *A. niger* (Tabela 10).

Resultados semelhantes foram obtidos por Marchiori e Melo (2000) ao analisarem as formas do carbono da matéria orgânica e o carbono da biomassa microbiana de um Latossolo Roxo sob mata natural, submetido as diferentes formas de manejo agrícola, e relataram que os maiores valores de quociente microbiano significam maior conversão de carbono orgânico em carbono de biomassa microbiano. No presente trabalho ocorreu correlação positiva significativa entre o quociente microbiano e o carbono de biomassa microbiano (0,93*) (Apêndice A).

A respiração microbiana foi maior aos 90 d.a.s em todos os solos analisados, principalmente no LVd2 (Tabela 10). Esses solos apresentaram o maior teor de matéria orgânica, como dito anteriormente, o que indica uma relação entre essas duas variáveis. Nesse sentido, correlações lineares significativas e positivas foram encontradas também entre C-CO₂ liberado e matéria orgânica (0,4831**), assim como por Scabora (2007), ao estudar a atividade microbiana,

fertilidade e a diversidade de FMA em espécies arbóreas de cerrado. Estas correlações sugerem que quanto maior a taxa respiratória microbiana maior a velocidade de decomposição de MO.

Tabela 10. Desdobramento das interações significativas para carbono liberado (C-CO₂), carbono de biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMIC$) e as diferentes épocas em função dos tratamentos.

Tratamentos	30 d.a.s.	90 d.a.s.	30 d.a.s.	90 d.a.s.	30 d.a.s.	90 d.a.s.
	C-CO ₂ liberado		CBM		qCO_2	
	-µg CO ₂ g solo seco dia ⁻¹ -		-----µg C g ⁻¹ solo seco-----		-µg CO ₂ /µg C g ⁻¹ solo seco-	
Micorriza	9,66bB	13,69aA	143,50bA	364,54aA	0,09aA	0,04bB
<i>Aspergillus</i>	9,12bB	13,21aA	136,66bA	213,25aB	0,08aA	0,07aA
M+A	11,72bA	13,44aA	150,33bA	330,88aA	0,10aA	0,04bB
Controle	6,03bC	9,02aB	163,96aA	162,92aB	0,05aB	0,06aAB
	$qMIC$					
	----- % -----					
Micorriza	1,11bA	2,00aA				
<i>Aspergillus</i>	0,92aA	1,14aB				
M+A	1,12bA	1,82aA				
Controle	1,16aA	0,89aB				

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Micorriza: inoculação com *Glomus clarum*; *Aspergillus*: inoculação com *Aspergillus niger*; M+A: inoculação com *G. clarum* e com *A. niger*. Controle fosfatado: não inoculado. d.a.s.: dias após semeadura.

Tabela 11. Desdobramento das interações significativas para carbono do CO₂ (C-CO₂) liberado e as diferentes épocas e tipos de solos.

Tratamentos	LVAd	LVd1	LVd2	LVd3
	----- µg CO ₂ g solo seco dia ⁻¹ -----			
30 d.a.s.	9,24aB	8,44bB	9,70aB	9,17aB
90 d.a.s.	11,53bA	12,61aA	12,83aA	12,58aA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. d.a.s.: dias após semeadura.

Os teores de C-CO₂ liberado foram maiores no LVAd com inoculação de *G. clarum* e no LVd2 com a adição dos dois fungos (*G. clarum*+*A. niger*). Os maiores valores de carbono de biomassa microbiana ocorreram no LVd1 no tratamento *G. clarum*. Valores semelhantes foram, também, apresentados no LVAd e no LVd2 com a inoculação de *A. niger* apenas, com a adição dos dois fungos e no controle fosfatado (Tabela 12).

Tabela 12. Desdobramento das interações significativas para carbono do CO₂ (C-CO₂) liberado, carbono de biomassa microbiana (CBM) e quociente metabólico (qCO_2) e os diferentes solos.

Tratamentos	LVAd	LVd1	LVd2	LVd3
C-CO ₂ liberado				
----- µg CO ₂ g solo seco dia ⁻¹ -----				
Micorriza	12,61aA	11,00bB	11,92abB	11,18abB
<i>Aspergillus</i>	10,31bB	11,92aAB	12,22aAB	10,23bB
M+A	11,99bA	12,22abA	13,14aA	12,99abA
Controle	6,64cC	6,95bcC	7,79bC	9,08aC
CBM				
----- µg C g ⁻¹ solo seco -----				
Micorriza	202,92bA	315,17aA	240,92abA	257,08abA
<i>Aspergillus</i>	196,08aA	129,00aB	173,66aA	201,08aAB
M+A	252,25aA	212,17aB	250,25aA	247,75aA
Controle	176,83aA	147,00aB	192,25aA	137,66aB
qCO_2				
----- µg CO ₂ /µg C g ⁻¹ solo seco -----				
Micorriza	0,07aA	0,05bB	0,07aAB	0,06bA
<i>Aspergillus</i>	0,06bA	0,10aA	0,09abA	0,06bA
M+A	0,07aA	0,07aA	0,07aAB	0,08aA
Controle	0,04bB	0,04bB	0,05bB	0,07aA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Micorriza: inoculação com *Glomus clarum*; *Aspergillus*: inoculação com *Aspergillus niger*; M+A: inoculação com *G. clarum* e com *A. niger*. Controle fosfatado: não inoculado. d.a.s.: dias após semeadura.

Para o quociente metabólico, os menores valores no LVd1 foram detectados no tratamento com *G. clarum* (Tabela 12). Em função desses baixos valores pode-se afirmar que a presença do fungo micorrízico contribuiu para o equilíbrio do solo, como comentado na literatura. Anderson; Domsch (1993) atribuíram à função de indicador de estresse ambiental ao quociente metabólico, visto que os altos valores desta variável refletem uma alta demanda de energia da comunidade microbiana para se manter (situação de estresse), e que tende a diminuir ao longo do tempo com a recuperação do ambiente.

Em contraste, o quociente metabólico foi maior, principalmente, no LVd1 com a inoculação de *A. niger* e no com a adição dos dois fungos (Tabela 12). Valores próximos foram verificados no LVAd com o *G. clarum* e ou *A. niger* e no LVd3 quando adicionado os dois fungos. Os altos valores de qCO_2 mostram que a eficiência da atividade microbiana do solo está baixa e que os microrganismos do solo estão, possivelmente, sob estresse ambiental (WARDLE;

GHANI, 1995), pois uma biomassa microbiana eficiente libera menos carbono na forma de CO₂, pela respiração, mas incorpora carbono em sua constituição aumentando sua massa microbiana (AQUINO, 2005).

Para colonização micorrízica e número de esporos de FMA, diferenças significativas foram detectadas entre tratamentos de inoculação, com os maiores valores para os tratamentos com inoculação, como esperado (Tabela 13), além de uma correlação positiva entre a colonização micorrízica e número de esporos (0,99*) (Apêndice A).

Tabela 13. Médias e valores de F e coeficiente de variação para colonização micorrízica e número de esporos em função dos tratamentos.

Tratamentos		Colonização micorrízica (%)	Nº de esporos (100 g solo ⁻¹ seco)
Solos (S)	LVAd	47	358
	LVd1	49	353
	LVd2	47	361
	LVd3	48	350
Tratamentos (T)	Micorriza	82a	644a
	<i>Aspergillus</i>	14b	74b
	M+A	82a	645a
	Controle	14b	60b
S		0,99 ^{ns}	1,31 ^{ns}
T		1405,17 ^{**}	6053,21 ^{**}
S x T		1,27 ^{ns}	1,97 ^{ns}
CV(%)		10,72	5,90

Médias seguidas de mesma letra, na coluna e dentro de cada variável não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **: significativo a 1%. ^{ns}: não significativo. Micorriza: inoculação com *Glomus clarum*; *Aspergillus*: inoculação com *Aspergillus niger*; MA: inoculação com *Aspergillus niger* e com *Glomus clarum*; Controle: controle fosfatado.

Resultados semelhantes foram obtidos por Costa et al. (2002) que, ao avaliarem o efeito da inoculação de FMA num LATOSSOLO VERMELHO Escuro do Estado do Paraná e de fontes de fósforo no crescimento e na composição mineral de plantas de milho em casa de vegetação, verificaram maior porcentagem de colonização micorrízica nos tratamentos inoculados com FMA, do que nos tratamentos não-inoculados.

5. CONCLUSÕES

A inoculação de *G. clarum* proporcionou valores semelhantes ao controle fosfatado para matéria fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular das plantas de milho, além de uma maior colonização micorrízica e número de esporos, mas um decréscimo do quociente metabólico

O fungo *A. niger* mostrou ser capaz de solubilizar o fósforo do solo, mas promoveu resultados intermediários para a planta.

Os diferentes teores de óxidos de ferro e alumínio dos solos analisados não influenciaram as contribuições de *G. clarum* e *A. niger* na disponibilização de fósforo para as plantas de milho.

A inoculação com *G. clarum* e ou *A. niger* proporcionou teores foliares de fósforo e nitrogênio semelhantes ao controle fosfatado, além de uma maior respiração microbiana ao longo do tempo.

O carbono de biomassa microbiana aumentou ao longo do tempo e mostrou ser diretamente proporcional ao quociente microbiano.

O tempo de condução do experimento pode ter sido insuficiente para a obtenção de dados mais claros quanto a solubilização de fósforo pelo *A. niger*.

6. REFERÊNCIAS

ABBOTT, L.K.; GAZEY, C. A ecological view of the formation of VA mycorrhizas. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 159, n.1, p. 69-78, 1994.

ANDERSON, T.H. Physiological analysis of microbial communities in soil: applications and limitations. In: RITZ, K.; DIGHTON, J.; GILLER, K.E. (Ed.). **Beyond the biomass**. London: British Society of Soil Science, 1994. p. 67-76.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 21, n. 4, p. 471-479, 1989.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 3, p.393-395, 1993.

APPIAH, M. R. Organic phosphorus and phosphatase activity in cocoa soils in Ghana. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 8, p. 45-50, 1975.

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

AQUINO, A.M.; SILVA, E.M.R.; SAGGIN JUNIOR, O.; RUMJANEK, N.; DE-POLLI, H.; REIS, V.M. A biota do solo e processos relevantes num novo contexto da agricultura. In: WADT,

P.G.S (Ed.) **Manejo do solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005. p. 88-126.

ATLAS, R.M.; BARTHA, R. **Microbial ecology: fundamentals and applications**. 3.ed. NewYork: The Benjamin-Cummings Publishing Company, 1993. 563p.

ASCENCIO, J. Acid phosphatase as a diagnostic tool. **Communications in Soil Science and Plant Analyzes**, New York, v. 25, p. 1553-1564, 1994.

BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A.C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, p. 221-226, 1983.

BAHIA FILHO, A.F.C. **Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas**. 1982. 179f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1982.

BANIK, S.; DEY, B.K. Available phosphate content of an Alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphate solubilizing microorganisms. **Plant and Soil**, The Hague, v. 69, n. 3, p-353-364, 1982.

BARDGETT, R.D.; SAGGAR, S. Effect of heavy metal contamination on the short - term decomposition of labeled (^{14}C) in a pasture soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 26, n. 6, p. 727-733, 1994.

BAREA, J.M.; AZCÓN, R.; AZCÓN-AGUILAR, C. Time course of N_2 (^{15}N) fixation in the field by clover growing alone or in mixture with ryegrass to improve pasture productivity, and inoculated with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, Cambridge, v. 112, p. 399-404, 1989.

BESFORD, R.T. Phosphorus nutrition and acid phosphatase activity in the leaves of seven plant species. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.30, n.3, p. 281-285, 1979.

BESFORD, R.T. A rapid tissue test for diagnosing phosphorus deficiency in tomato. **Plant Annual Botany**, London, v. 45, p. 225-227, 1980.

BLEVINS, D.G. Por que as plantas precisam de fósforo? **Informações agronômicas**, Piracicaba, n. 87, p. 4-5, 1999.

BRESSAN, W.; VASCONCELLOS, C.A. Alterações morfológicas no sistema radicular do milho induzidas por fungos micorrízicos e fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 509-517, 2002.

BOLAN, N.S. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 134, n. 2, p. 189-207, 1991.

CAMARGO, M.N.; JACOMINE, P. T. K.; CARVALHO, A. P.; OLMOS, J. I. L. The brasilian classification of latosols. In: INTERNACIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8., Rio de Janeiro, 1986. **Proceedings...** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1988. p. 190-200.

CAMPOS, B.H.C. **A cultura do milho no plantio direto**. Cruz Alta: FUNDACEP/FECOTRIGO, 1998. 189p.

CLARHOLM, M. Microbial biomass P, labile P, and acid phosphatase activity in the humus layer of a spruce forest, after repeated additions of fertilizers. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 16, n. 4, p. 287-292, 1993.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. **Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1995. 9p.

CONSULTORIA & COMÉRCIO- FNP. Milho. In: **AGRIANUAL**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: Agrafnp, 2007. p. 405-423.

CONTE, E. **Atividade de fosfatase ácida e formas de acumulação de fosfato em solo no sistema plantio direto**. 2001. 65f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

CORRÊA, G.F. **Modelo de evolução e mineralogia da fração argila de solos do planalto de Viçosa, MG**. 1984. 87f. Dissertação (Mestrado em Solos)- Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1984.

COSTA, M.D.; LOVATO, P.E. Fosfatases na dinâmica do fósforo do solo sob culturas de cobertura com espécies micorrízicas e não micorrízicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 603-605, 2004.

COSTA, T.A.; PINTRO, J.C.; SILVA, E.S.; COSTA, S.M.G. Influência da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, da acidez do solo e de fontes de fósforo no crescimento do milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Brasília, v. 24, n. 5, p. 1583-1590, 2002.

CROSS, A.F.; SCHLESINGER, W.H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, Durham, v. 64, n. 3, p. 197-214, 1995.

CRUZ, J.C.; PERREIRA FILHO, I.A.; GAMA, E.E.G.; PEREIRA, F.T.F.; CORRÊA, L.A. **Cultivares de milho no mercado de sementes de milho no Brasil no ano 2000**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 33 p. (Embrapa Milho e Sorgo, 4)

DAHNIKE, W.C.; MALCOLM, J.L.; MENÉNDEZ, M. Phosphorus fractions in selected soil profiles of El Salvador as related to their development. **Soil Science**, Baltimore, v. 98, p. 33-38, 1964.

DUFFERA, M.; ROBARGE, W.P. Characterization of organic and inorganic phosphorus in the highland plateau soils of Ethiopia. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 27, n. 15, p. 2799-2814, 1996.

DUMANSKI, J.; PIERI, C. Land quality indicators: research plan. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 81, n. 2, p. 155-162, 2000.

FERNANDEZ, E.M.; CRUSCIOL, C.A.C.; THIMOTHEO, C.M.S.; ROSOLEM, C.A. Matéria seca e nutrição da soja em razão da compactação do solo e adubação fosfatada. **Científica**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 117-132, 1995.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p.255-258.

FREITAS, J.R. **Atividade da enzima fosfatase ácida em folhas e raízes de feijoeiro *Phaseolus vulgaris***. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 1995. 26p. (Relatório interno).

FREITAS, M.G.M.; LOPES-ASSAD, M.L.R.C.; CECATO-ANTONINI, S.R. Biossolubilização de pó de basalto por *Aspergillus niger*. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. 7, 2009, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2009. p. 103, 2009.

GATIBONI, L.C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 231f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2003.

GARBEVA, P.; VAN VEEN, J.A.; VAN ELSAS, J.D. Microbial diversity in soil: selection microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 42, p. 243-270, 2004.

GARCIA, M.; ASCENCIO, J. Root morphology and acid phosphatase activity in tomato plants during development of and recovery from phosphorus stress. **The Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 15, n. 11, p. 2491-2503, 1992.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transaction of British Mycological Society**, London, v. 6, p. 234-244, 1963.

GERDEMANN, J.W. Vesicular-arbuscular mycorrhiza. In: TORREY, J.G.; CLARKSON, D.T. (Ed.). **The development and function of root**. New York: Academic Press, 1975. p. 575-591.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, Cambridge, v. 4, n. 3, p. 484-500, 1980.

GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância inicial do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 94, p. 1-5, 2001.

GRISI, B.M. Metodologia da determinação de biomassa microbiana de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, n. 2, p. 197-172, 1984.

GUALBERTO, V.; RESENDE, M.; CURI, N. Química e mineralogia de latossolos, com altos teores de ferro, da Amazônia e do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, p. 245-252, 1987.

GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G.A.; FERNANDES, M.S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 4, p. 291-299, 1996.

HERINGER, I.; JACQUES, A.V.Á.; BISSANI, C.A.; TEDESCO, M. Características de um Latossolo Vermelho sob pastagem natural sujeita à ação prolongada do fogo e de práticas alternativas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 309-314, 2002.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, Beltsville, v. 48, p. 692, 1964.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Ed.). **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981. v.5. p. 415-471.

JONES, D.; SMITH, B.F.L.; WILSON, M.J.; GOODMAN, B.A. Phosphate solubilizing fungi in a Scottish upland soil. **Mycological Research**, London, v. 95, n. 9, p. 1090-1093, 1991.

KÄMPF, N.; REZENDE, M.; CURI, N. Iron oxides in Brazilian Oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8., 1986, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: EMBRAPA/ SNLCS, 1988. p. 71-7.

KAMPRATH, E.J. Phosphorus fixation and availability in highly weathered soils. In: FERRI, M.G. (Coord.). **Simpósio sobre o cerrado: bases para utilização agropecuária**. 4 ed. Belo Horizonte: Itatiaia, 1977. p. 333-347.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 61, p. 4-10, 1997.

KENNEDY, A.C.; SMITH, K.L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 170, n. 1, p.75-86, 1995.

KER, J.C.; FONTES, M.P.F.; SOUZA, A.R.; RESENDE, M. Adsorção de fósforo em alguns solos latossólicos: relação entre mineralogia e efeito da calagem. **Ceres**, Viçosa, v. 43, n. 246, p. 216-226, 1996.

KIM, K.Y.; JORDAN, D.; MCDONALD, G.A. Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. **Biology and Fertility of Soils**. New York, v. 26, n. 2, p. 79-87, 1997.

KOIDE, R.T. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. **New Phytologist**, Oxford, v. 117, n. 3, p. 365-386, 1991.

LEAL, J.R.; VELLOSO, A.C.V. Adsorção de fosfato em Latossolo sob vegetação de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 8, p. 81-8, 1973.

LIMA, R.L.F.A.; SALCEDO, H.I.; FRAGA, V.S. Propágulos de fungos micorrízicos arbusculares em solos deficientes em fósforo sob diferentes usos, da região semi-árida no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 257-268, 2007.

LYNCH, J.M.; BRAGG, E. Microorganism and soil aggregate stability. **Advances in Soil Science**, New York, v. 2, p. 1333-171, 1985.

MACHADO, M.I.C.S.; BRAUNER, J.L.; VIANNA, A.C.T. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 331-336, 1993.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MALTONI, K.L. **Estudo de compactação e/ou adensamento em subsuperfície de latossolos sob diferentes usos**. 1994. 139f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1994.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1177-1182, 2000.

MARSCHNER, H. Role of root growth, arbuscular mycorrhiza, and root exudates for the efficiency in nutrient acquisition. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 56, n. 2, p. 203-207, 1998.

MELLONI, R.; PEREIRA, E.G.; TRANNIN, I.C.B.; SANTOS, D.R.; MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Características biológicas de solos sob mata ciliar e campo cerrado no sul de Minas Gerais. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 7-13, 2001.

MIRANDA, J.C.C.; VILELA, L.; MIRANDA L.N. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 10, p. 1005-1014, 2005.

MOLTOCARO, R.C.R. **Guandu e micorriza no aproveitamento do fosfato natural pelo arroz em condições de casa-de-vegetação**. 2007. 65f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical Área de Concentração em Tecnologia da Produção Agrícola)- Instituto Agrônomo – IAC. Campinas, 2007.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.

MUHUKUMAR, T.; UDAYAN, K.; RAJESHKANNAN, V. Response of NET (*Azadirachta indica* A. Juss) to indigenous arbuscular mycorrhizal fungi, phosphate-solubilizing and assymbiotic nitrogen-fixing bacteria under tropical nursery conditions. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 34, p. 417-426, 2001.

NAHAS, E. Factors determining rock phosphate solubilization by microorganisms isolated from soil. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Oxford, v. 12, n. 6, p. 567-572, 1996.

NAHAS, E.; BANZATTO, D.A.; ASSIS, L.C. Fluorapatite solubilization by *Aspergillus niger* in vinegar medium. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 22, p. 1097-1101, 1990.

NAHAS, E.; CENTURION, J.F.; ASSIS, L.C. Microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases de vários solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 1, p. 43-48, 1994.

NAHAS, E.; FORNASIERI, D.J.; ASSIS, L.C. Resposta á inoculação de fungo solubilizador de fósforo em milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 463-469, 1994b.

NEPTUNE, A.M.L.; TABATABAI, M.A.; HANWAY, J.J. Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus-sulfur relationships in some Brazilian and Iowa soils. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v. 39, p. 51-55, 1975.

OBERSON, A.; BESSON, J. M.; MAIRE, N.; STICHER, H. Microbiological processes in soil organic phosphorus transformations in conventional and biological cropping systems. **Biology and Fertility of Soils**, Heilderber, v.21, n. 3, p. 138-148, 1996.

ODUNFA, V.S.A.; OSO, B.A. Bacterial population in the rhizosphere soils of cowpea and sorghum. **Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol**, Paris, v. 15, n. 4, p. 413-420, 1978.

OEHL, F.; OBERSON, A.; PROBST, P.A.; ROTH, H.R.; FROSSARD, E. Kinetics of microbial phosphorus uptake in cultivated soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 34, n. 1, p. 31-41, 2001.

OLIVEIRA, I.P.; THUNG, M. D.; SOUZA, C.M.R.; SANTOS, R.S.M. Atividade da fosfatase ácida no feijoeiro e sua correlação com parâmetros de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 29, n. 2, p. 43-49, 1999.

OMAR, S.A. The role of rock-phosphate-solubilizing fungi and vesicular-arbuscular-mycorrhiza (VAM) in growth of wheat plants fertilized with rock phosphate. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Dordrecht, v. 14, n. 2, p. 211-218,. 1998.

PAPENDIK, R.; PARRA, J.F. Soil quality: The key to sustainable agriculture. **American Journal of Alternative agriculture**, Baltimore, v. 7, n. 1/2, p. 2/3, 1992.

PARKIN, T.B.; DORAN, J.W.; FRANCO-VIZCAINO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.231-246. (Special number, 49).

PAUL, N.B.; RAO, W.V.B.S. Phosphate-dissolving bacteria in the rhizosphere of some cultivated legumes. **Plant and soil**, Dordrecht, v. 35, n. 1, p. 127-132, 1999.

PEREIRA, E.G.; SIQUEIRA, J.O.; CURI, N.; MOREIRA, F.M.S.; PURCINO, A.A.C. Efeitos da micorriza e do suprimento de fósforo na atividade enzimática e na resposta de espécies arbóreas ao nitrogênio. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 59-65, 1996.

PHILLIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of British Mycological Society**, London, v. 55, p. 157-160, 1970.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B.; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 31 p. (Boletim Técnico-IAC, n.81).

RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285p.

REID, M.S.M.; BIELESKI, R.L. Changes in phosphatase activity in phosphorus deficient *Spirodela*. **Planta**, Berlin, v. 94, p. 273-284, 1970.

REINHEIMER, D.; CASSOL, P.C.; KAMINSKI, J.; ANGHINONI, I. Fósforo orgânico do solo. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. Ed. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 227-244.

REIS, E.F.; CARNEIRO, M.A.C.; SAGGIN-JÚNIOR, O.J.; ROTTA, D.A.; SOUZA, M.Y. Absorção de fósforo em doze genótipos de milho inoculados com fungo micorrízico arbuscular em solo de cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2442-2447, 2008.

RESENDE, M. **Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil**. 1976. 237f. Thesis (Ph.D.) - Purdue University West. Lafayette, 1976.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 2.ed. Viçosa: NEPUT, 1997. p. 44-45.

REYES, I.; BERNIER, L.; SIMARD, R.R.; ANTOUN, H. Effect of nitrogen source on the solubilization of different inorganic phosphates by an isolate of *Penicillium rugulosum* and two UV-induced mutants. **FEMS Microbiology Ecology**, Aberdeen, v. 28, p. 281-290, 1999.

RHAGHOTHAMA, K.G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Stanford, v. 50, p. 665-693, 1999.

ROSOLEM, C.A.; FERNANDEZ, E.M.; ANDREOTT, M.; CRUSCIOL, C.A.C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 5, p. 821-829, 1999.

SAHIN, F.; ÇAKMAKÇI, R.; KANTAR, F. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N₂-fixing and phosphate solubilizing bacteria. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 265, n. 1-2, p. 123-129, 2004.

SANCHEZ, P.A.; LOGAN, T.J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In.: LAL, R.; SANCHEZ, P.A. **Myths and science of soils of the tropics**. Madison: SSAA, 1992. p. 35-46. (Special publication, 29).

SANTOS, J.C.P.; KAMINSKI, J.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A.L. Rendimento de massa seca e absorção de fósforo pelo milho afetado pela aplicação de fósforo, calcário e inoculação com fungos micorrízicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 63-67, 1996.

SANTOS, Í.P.A.; PINTO, J.C.; SIQUEIRA, J.O.; MORAIS, A.R.; SANTOS, C.L. Influência do fósforo, micorriza e nitrogênio no conteúdo de minerais de *Brachiaria brizantha* e *Arachis pintoi* consorciados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 605-616, 2002.

SCABORA, M.H. **Atividade microbiana e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em espécies arbóreas**. 2007. 57f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Sistemas de Produção)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2007.

SILVA, F.C.; BASSO, L.C. Avaliação da atividade *in vivo* da fosfatase ácida da folha na diagnose da nutrição fosfórica em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 371-375, 1993.

SILVA FILHO, G.N. **Solubilização de fosfatos pela microbiota do solo**. 1998. 140f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998.

SILVA FILHO, G.N.; VIDOR, C. Atividade de microrganismos solubilizadores de fosfatos na presença de nitrogênio, ferro, cálcio e potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1495-1508, 2001.

SILVA FILHO, G.N.; NARLOCH, C.; SCHARF, R. Solubilização de fosfatos naturais por microrganismos isolados de cultivos de *Pinus* e *Eucalyptus* de Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 847-854, 2002.

SILVEIRA, A.P.D. Micorrizas. In: CARDOSO, E.J.N.; TSAI, S.M.; NEVES, H.C.P. (Ed.) **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992. p. 258-282.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. 2.ed. London: Academic Press, 1997. 605 p.

SIQUEIRA, J.O.; SYLVIA, D.M.; GILSON, J.; HUBBELL, D.H. Spores, germination and germ tubes of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 31, n. 11, p. 965-972, 1985.

SOUCHIE, E.L.; SAGGIN-JUNIOR, O.J.; SILVA, E.M.K.; CAMPELLO, E.F.C. AZCÓN, R.; BAREA, J.M. Communities of P-solubilizing bacteria, fungi and arbuscular mycorrhizal fungi in grass pasture and secondary forest of Paraty, RJ-Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 78, p. 183-193, 2006.

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, p. 103-11, 1991.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 30, p. 195-207, 1992.

STIPP, S.R.; YAMADA, T. Nutrição e adubação do milho. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 44, p. 3-6, 1988.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.2, p.1550-1570.

STOTZKY, G.; NORMAN, A.G. Factors limiting microbial activities in soil: I. The level of substrate, nitrogen, and phosphorus. **Archives of Microbiology**, Berlin, v. 40, p. 341-369, 1961.

SYLVIA, D.M.; FUHRMANN, J.J.; HARTEL, P.G.; ZUBERER, D.A. **Principles and applications of soil microbiology**. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 550p.

TARAFDARD, J.C.; ROY, A.B.; MANDALAK, G. Enzyme status of some jute-growing soils of west Bengal. **Australian Journal of Soil**, Collingwood, v. 2, p. 181-184, 1981.

THINGSTRUP, I.; KAHILUOTO, H.; JADOBSEN, I. Phosphate transport by hyphae of field communities of arbuscular mycorrhizal fungi at two levels of P fertilization. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 221, n. 2, p. 181-187, 2000.

TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 48, p. 853-858, 1984.

TROLLDENIER, G. Techniques for observing phosphorus mobilization in the rhizosphere. **Biology and Fertility of Soils**, Heilderber, v. 14, p. 121-125, 1992.

UEHARA, G. Acric properties and their significance to soil classification. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8, 1986, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: EMBRAPA/ SNLCS, 1988. p. 19-22.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, p. 773-777, 1987.

VASSILEV, N.; FRANCO, I.; VASSILEV, M.; AZCON, R. Improved plant growth with rock phosphate solubilized by *Aspergillus niger* grown on sugar-beet waste. **Bioresource Tecnology**, Oxon, v. 55, p. 237-241, 1996.

WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-CNPAF, 1994. p. 419- 436.

WARDLE, D.A.; GHANI, A.A. A critique of the microbial metabolic quotient ($q\text{CO}_2$) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 27, p. 1601-1610, 1995.

WESTIN, F.C.; BRITO, J.G. Phosphorus fractions of some Venezuelan soils as related to their stage of weathering. **Soil Science**, Baltimore, v. 107, p. 194-202, 1969.

7. APÊNDICE

Apêndice A. Coeficiente de correlação para fósforo (P-resina), matéria orgânica (MO), potencial de hidrogênio (pH), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V %), altura, matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca do sistema radicular (MFR), matéria seca do sistema radicular (MSR), fósfatase ácida vegetal (Fosf.) e teores foliares de fósforo (P) e nitrogênio (N), CO₂ liberado (C-CO₂), carbono de biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMIC$), colonização micorrízica (COL) e número de esporos.

	P resina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V	Altura	MFPA	MSPA	MFR	MSR	Fosf.	P	N	CO ₂	CBM	qCO_2	$qMIC$	COL
MO	-0,00ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	0,0 ns	-0,29*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	-0,05ns	-0,61*	0,00ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	0,02ns	-0,24*	0,75ns	0,14*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	-0,05ns	-0,33*	0,74*	0,10ns	0,93*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H+Al	-0,06ns	0,29*	-0,90*	0,05ns	-0,70*	-0,71*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al	0,08ns	0,21*	-0,45*	-0,12ns	-0,35*	0,43*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SB	-0,00ns	-0,33*	0,75*	0,18*	0,98*	0,98*	-0,71*	-0,31*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CTC	-0,05ns	-0,30*	0,63*	0,23*	0,96*	0,95*	-0,54*	-0,25*	0,97*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	-0,04ns	-0,35*	0,89*	0,13ns	0,90*	0,87*	-0,90*	-0,49*	0,89*	0,80*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Altura	0,03ns	0,28*	-0,45*	-0,12ns	-0,00ns	-0,03ns	0,02ns	0,00ns	-0,02ns	-0,01ns	-0,02ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MFPA	-0,05ns	0,14ns	0,11ns	0,03ns	0,09ns	-0,11ns	-0,03ns	-0,19ns	0,00ns	0,02ns	0,42*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MSPA	-0,00ns	0,00ns	0,13ns	-0,06ns	0,04ns	-0,08ns	-0,09ns	-0,13ns	-0,01ns	-0,05ns	0,02ns	0,40*	0,85*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-MFR	-0,06ns	0,14ns	0,04ns	-0,14ns	-0,00ns	-0,13ns	-0,05ns	0,00ns	-0,06ns	-0,09ns	-0,04ns	0,16ns	0,44*	0,41*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MSR	-0,07ns	0,02ns	0,06ns	-0,27*	-0,02ns	-0,10ns	-0,11ns	-0,04ns	-0,06ns	-0,12ns	-0,00ns	0,20*	0,33*	0,38*	0,82*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosf.	-0,05ns	0,02ns	-0,14ns	-0,14ns	-0,13ns	-0,06ns	0,04ns	0,05ns	-0,10ns	-0,11ns	-0,06ns	-0,21*	-0,27*	-0,28*	-0,04ns	-0,06ns	-	-	-	-	-	-	-	-
P	0,21*	-0,09ns	-0,02ns	0,20*	-0,09ns	-0,05ns	0,05ns	-0,12ns	-0,07ns	-0,06ns	-0,06ns	0,08ns	0,14ns	0,06ns	-0,19	-0,15ns	-0,26*	-	-	-	-	-	-	-
N	-0,09ns	0,10ns	-0,18ns	0,05ns	-0,10ns	-0,03ns	-0,17ns	0,12ns	0,12ns	-0,02ns	-0,14ns	-0,25*	-0,46*	-0,36*	-0,14ns	-0,21*	0,19ns	-0,11ns	-	-	-	-	-	-
CO ₂	0,00ns	0,42*	-0,11ns	-0,44ns	-0,17*	-0,34*	0,12ns	0,17*	-0,17*	-0,16*	-0,20*	-0,13ns	-0,27*	-0,38	ns	-0,21*	0,64*	ns	0,27*	-	-	-	-	-
CBM	0,01ns	0,38*	-0,19*	-0,40*	-0,26*	-0,28*	0,21*	0,16*	-0,29*	-0,29*	-0,28*	-0,15ns	-0,04ns	-0,13ns	0,05ns	0,02ns	0,43*	-0,12ns	0,12ns	0,42*	-	-	-	-
qCO_2	0,02ns	0,26*	0,22*	0,27*	0,28*	0,35*	-0,23*	-0,13ns	0,34*	0,33*	0,29*	0,06ns	-0,08ns	-0,06ns	-0,21*	-0,19ns	-0,13ns	0,13ns	-0,06ns	0,07ns	-0,75*	-	-	-
$qMic$	0,06ns	0,06ns	-0,11ns	-0,22*	-0,21*	-0,20*	-0,12ns	0,09ns	-0,22*	0,22*	-0,18*	0,16ns	-0,08ns	-0,11ns	0,00ns	0,00ns	0,43*	0,09ns	0,10ns	0,29*	0,93*	-0,74*	-	-
COL	0,00ns	-0,08ns	-0,14ns	0,10ns	-0,12ns	-0,12ns	0,17ns	0,20*	-0,12ns	-0,07ns	-0,12ns	-0,03ns	-0,02ns	ns	0,10ns	0,10*	0,53*	-0,10ns	0,06ns	0,50*	0,64*	-0,49*	0,66*	-
Esp.	-0,08ns	-0,09ns	-0,14ns	0,07ns	-0,12ns	-0,12ns	-0,11ns	-0,12ns	-0,08ns	-0,12ns	-0,03ns	-0,03ns	-0,03ns	-0,09ns	0,11ns	0,09ns	0,54*	-0,15ns	0,08ns	0,52*	0,65*	-0,51*	0,67*	0,99*

* : significativo a 5% de probabilidade; ns: não significativo. Fosf.: fósfatase. Esp.: número de esporos.