DISSERTAÇÃO

GUANDU E MICORRIZA NO APROVEITAMENTO DO FOSFATO NATURAL PELO ARROZ EM CONDIÇÕES DE CASA-DE-VEGETAÇÃO

RAFAELA CAROLINE RANGNI MOLTOCARO

Campinas, SP
2007

INSTITUTO AGRONÔMICO

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL

GUANDU E MICORRIZA NO APROVEITAMENTO DO FOSFATO NATURAL PELO ARROZ EM CONDIÇÕES DE CASA-DE-VEGETAÇÃO

RAFAELA CAROLINE RANGNI MOLTOCARO

Orientador: Roberto Tetsuo Tanaka

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Agricultura Tropical e Subtropical Área de Concentração em Tecnologia da Produção Agrícola

Campinas, SP
Fevereiro 2007

Ficha elaborada pela bibliotecária do Núcleo de Informação e Documentação do Instituto Agronômico

M732g Moltocaro, Rafaela Caroline Rangni
Guandu e micorriza no aproveitamento do fosfato natural pelo arroz em condições de casa-de-vegetação / Rafaela Caroline Rangni Moltocaro. Campinas, 2007.
49 fls

Orientador: Roberto Tetsuo Tanaka
Dissertação (Mestrado) Agricultura Tropical e Subtropical
Instituto Agronômico

1. *Glomus etunicatum* 2. Fontes de fósforo
3. Eficiência agronômica e microbiológica I. Tanaka, Roberto Tetsuo
II. Campinas. Instituto Agronômico III. Título

CDD. 633.18

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA
DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO AGRONÔMICO
Pós-Graduação
Av. Barão de Itapura 1481 Caixa Postal 28
13001-970 Campinas, SP - Brasil
(019) 3231-5422 ramal 194
pgiac@iac.sp.gov.br

INSTITUTO AGRONÔMICO

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

PÓS-GRADUAÇÃO
AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL

TÍTULO: **Guandu e micorriza no aproveitamento do fosfato natural pelo arroz em condições de casa-de-vegetação**

Aluno(a): **Rafaela Caroline Rangni Moltocaro**
Processo SAA nº. **12056/05**

Orientador(a): **Roberto Tetsuo Tanaka**

Aprovado pela Banca Examinadora:

Dr.(a) Roberto Tetsuo Tanaka - IAC

Dr.(a) Sueli dos Santos Freitas - IAC

Dr.(a) Takashi Muraoka - USP

Campinas, 4 de junho de 2007

Visto:

Ana Maria M. A. Lagôa
Coordenadora
Pós-Graduação-Instituto Agronômico

“Você não pode provar uma definição”.
“O que pode fazer é mostrar que ela faz sentido...”
Albert Einstein

A Deus, pela minha vida

A minha amada mãe Ângela (*in memoriam*) e meu querido tio Vander Roberto,

pelo exemplo de vida e pelo apoio em todos os momentos, com muito amor,

DEDICO

A minha irmã Natacha Fernanda pelo

carinho e a vovó Cida (*in memoriam*)

cujo amor e dedicação para a minha

formação foram indispensáveis,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

- Ao orientador, professor Roberto Tetsuo Tanaka, por sempre acreditar na minha capacidade e cuja honestidade muito admiro, e levarei como ensinamento para a minha vida profissional;

- À professora Adriana Parada Dias da Silveira, pelo auxílio e ensinamentos nas análises microbiológicas e atenção durante toda a realização deste trabalho;

- Ao Curso de Pós-Graduação do Instituto Agronômico, pela oportunidade concedida;

- Ao Setor de Microbiologia do Solo e em especial a técnica de laboratório e amiga Rosana Gierts Gonçalves cuja dedicação, companheirismo e ensinamentos sempre fizeram diferença e que levarei comigo durante toda minha jornada, a Sandra e a Nilza, pelo incentivo de todas as horas;

- Aos pesquisadores e funcionários do Setor de Leguminosas do Centro de Grãos e Fibras - CEGRAFI, em especial Hamilton Kikuti e Paulo Eduardo Magalhães pelos ensinamentos, sugestões e auxílios na realização deste trabalho;

- À professora Sueli dos Santos Freitas, pela valiosa contribuição na correção da versão pre-liminar da dissertação;

- Aos professores, em especial Dra. Elaine Bahia Wutke, da área de concentração em Tecnologia de Produção Agrícola da PG-IAC, pelos conselhos e ensinamentos transmitidos;

- Ao Dr Aildson Pereira Duarte, cujo apoio e incentivo me fizeram acreditar ser possível;

- À Dra. Luciana Ap. Carlini Garcia pela elaboração do Abstract;

- Aos funcionários da PG-IAC, pelo auxílio e dedicação para a realização do curso;

- Aos funcionários da biblioteca Lígia, Maria Elídia e Wangri, pela paciência, e atenção sempre prestada com dedicação, profissionalismo e respeito;

- A todos os amigos do IAC/APTA Médio Paranapanema por todos os momentos compartilhados, ensinamentos, apoio e grande carinho;

- Aos meus amigos da pós-graduação André, Elaine, Guilherme, Monalisa, Patrícia, Rafael Previtalli e Sarita, pela amizade e companheirismo durante o curso em especial a amiga Núbia, pelo auxílio em todas as fases deste trabalho;

- À Ana Karina, Ana Lúcia, Luciana e Aline, pela amizade, companheirismo, conselhos, apoio emocional e pelos momentos únicos compartilhados durante esse período de convivência;

- À minha família, pela grande ajuda e incentivo constante durante o curso;

- Às minhas amigas Fabiana, Rita e Maria Alice pela verdadeira amizade e apoio constante.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS ix
ÍNDICE DE FIGURAS x
RESUMO xi
ABSTRACT xiii
1 INTRODUÇÃO 1
2 REVISÃO DE LITERATURA 2
2.1 Fósforo no Solo e na Planta 2
2.2 Fontes de Fósforo 2
2.3 O Fósforo e a Microbiota do Solo 4
2.4 Guandu (*Cajanus cajan* L.) 9
3 MATERIAL E MÉTODOS 11
3.1 Características do Substrato 11
3.2 Delineamento e Preparo das Unidades Experimentais 11
3.3 Cultivo do Guandu 12
3.4 Incorporação e Incubação da Fitomassa do Guandu 12
3.5 Cultivo do Arroz 12
3.6 Amostragens do Solo e Raizes para Avaliações Agronômicas e Microbiológicas... 13
3.7 Avaliações Agronômicas 13
Solo, Guandu e Arroz 13
3.8 Avaliações Microbiológicas 14
3.8.1 Carbono da biomassa microbiana 14
3.8.2 Respiração basal do solo 14
3.8.3 Quociente metabólico (*q*-CO2) 15
3.8.4 Atividade da desidrogenase no solo 15
3.8.5 Atividade da fosfatase alcalina no solo 15
3.8.6 Determinação da colonização das raízes pelo FMA 16
3.8.7 Esporulação de FMAs 16
3.9 Aplicação da Análise de Variância e Testes de Significância 16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 17
4.1 Fósforo no Solo 17
4.2 Guandu: Crescimento e Nutrição com Fósforo 19
4.3 Arroz: Crescimento e Nutrição com P 25
4.4 Parâmetros Microbiológicos 29
4.4.1 Carbono (C) da biomassa microbiana 29
4.4.2 Respiração basal 32
4.4.3 Quociente metabólico (qCO_2) 34

4.4.4 Fosfatase alcalina 35
4.4.5 Atividade da desidrogenase 38
4.4.6 Número de esporos de FMAs 40
5 CONCLUSÕES 42
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 43

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Teor de P disponível na amostra de solo após o cultivo do arroz em sucessão ao cultivo e incubação das plantas de guandu produzidas com inoculação do fungo micorrízico e adubadas com fontes de P. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação 18

Tabela 2. Altura das plantas de guandu e número de entrenós em função das fontes de fósforo e inocubação com fungo micorrízico. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação 20

Tabela 3. Percentagem de colonização radicular de plantas de guandu em função das fontes de fósforo e fungos micorrízicos. Ensaio em vasos e em casa-de-vegetação 23

Tabela 4. Teor e quantidade acumulada de P na parte aérea das plantas de arroz cultivadas após a incubação das plantas de guandu produzidas com inoculação micorrízica e fontes de fósforo. Ensaio em vasos e em casa de-vegetação 26

Tabela 5. Massa de matéria seca das plantas de arroz produzida após incubação das plantas de guandu produzidas com ou sem inoculação micorrízica e com fontes de fósforo. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação 28

Tabela 6. Carbono da biomassa microbiana no solo avaliado após o cultivo do guandu produzido com inoculação micorrízica e fonte de fósforo, antes e após incubação. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação 30

Tabela 7. Respiração basal no solo, avaliada após o cultivo do guandu produzido com inoculação micorrízica e fonte de fósforo, antes e após incubação. Ensaio em vasos em casa de vegetação 33

Tabela 8. Quociente metabólico (qCO_2) avaliado antes e após a incorporação (CG) ou não (SG) das plantas de guandu produzidas com inoculação (CM) ou não (SM) de fungo micorrízico e fontes de fósforo 35

Tabela 9. Atividade das fosfatases alcalinas, avaliada em duas épocas de amostragens: após incubação das plantas de guandu e após colheita das plantas de arroz em função dos fatores, fontes de fósforo e guandu - inoculação. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação 36

Tabela 10. Atividade da desidrogenase, avaliada em duas épocas do experimento: antes e após a colheita das plantas de arroz, em função das fontes de fósforo e inoculação de fungo micorrízico. Ensaio em vasos e em casa-de-vegetação . 39

Tabela 11. Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo, avaliado em duas épocas do experimento: antes da incorporação das plantas de guandu e após a colheita das plantas de arroz em função dos fatores - fontes de fósforo e guandu - inoculação. Ensaio em vasos e em casa-de-vegetação 41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Teor de P disponível na amostra de solo após o cultivo, incorporação e incubação das plantas de guandu produzidas com inoculação do fungo micorrízico e adubadas com fontes de P. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação. FO – fosforita, ST – superfosfato triplo, SP – sem P; CG – com guandu, SG – sem guandu, CM – com micorriza, SM – sem micorriza 17

Figura 2. Massa de matéria seca total das plantas de guandu cultivadas com supertriplo (ST), fosforita (FO) e sem fósforo (SP), com (CM) ou sem (SM) inoculação de fungo micorrízico. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação 21

Figura 3. Teor de P na parte aérea das plantas de guandu cultivadas com supertriplo (ST), fosforita (FO) e sem fósforo (SP), com (CM) ou sem (SM) inoculação de fungo micorrízico. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. Ensaio em vasos e em casa-de-vegetação 24

Figura 4. Fósforo acumulado na parte aérea das plantas de guandu cultivadas com supertriplo (ST), fosforita (FO) e sem fósforo (SP), com (CM) ou sem (SM) inoculação de fungo micorrízico. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste Tukey a 5% 24

Figura 5. Colonização micorrízica das raízes de arroz após incubação das plantas de guandu adubadas com supertriplo (ST), fosforita (FO) e sem fósforo (SP), com guandu (CG), sem guandu (SG) e com inoculação (CM), sem inoculação (SM) de fungo micorrízico. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação 29

Figura 6. Carbono da biomassa microbiana da rizosfera do arroz em função das plantas de guandu produzidas com fontes de P e inoculação micorrízica e incubadas. Médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% 30

Figura 7. Atividade das fosfatases, antes da incorporação das plantas de guandu cultivadas com fontes de fósforo, na presença de fungos micorrízicos nativos e fungos micorrízicos nativos + *Glomus etunicatum*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. 36

MOLTOCARO, Rafaela Caroline Rangni. **Guandu e micorriza no aproveitamento do fosfato natural pelo arroz em condições de casa-de-vegetação.** 2007. 49f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Produção Agrícola) – Pós-Graduação – IAC.

RESUMO

O fósforo é nutriente dos vegetais e animais e sua reserva na natureza é finita com previsão de ser o primeiro a se esgotar em poucas décadas. Diante disso, é importante que a sua utilização na industrialização e na agricultura tenha a maior eficiência possível. O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito do cultivo das plantas de guandu micorrizadas e incubadas com a terra no aproveitamento de fósforo de duas fontes do nutriente pela cultura do arroz em sucessão por meio das respostas das plantas envolvidas e das características químicas e microbiológicas da terra. O experimento em vasos foi desenvolvido sob casa-de-vegetação no Setor de Leguminosas do Instituto Agronômico, em Campinas, em delineamento experimental inteiramente ao acaso em esquema fatorial 3x4 com seis repetições. Como fator, fontes de fósforo foram testadas: fosforita com 10,5% de P total, superfosfato triplo com 17,9% de P total, e testemunha, e como fator guandu – inoculação foram testados: com ou sem o cultivo do guandu com ou sem a inoculação do fungo micorrízico. A dose aplicada de fósforo foi de 80 mg kg^{-1} de terra. O substrato utilizado no vaso foi terra oriunda do mesmo Centro Experimental, cuja análise apresentou teor médio de P disponível, respiração basal de 137,3 µg CO_2 g $solo^{-1}$, biomassa microbiana de 55,2 µg C g dia^{-1} e 80 esporos de FMAs nativos por 100 mL. A amostra de terra foi peneirada e acondicionada em vaso contendo 5,2 kg. Como adubação fixa foram aplicados K e B. A adubação fosfatada e a fixa foram misturadas com a terra sem esterilização. A inoculação dos tratamentos com *Glomus etunicatum* consistiu na aplicação de 1200 esporos $vaso^{-1}$, a lanço, a 3 cm da superfície da terra. Quatro plantas do guandu cultivar IAC – Fava Larga foram cultivadas por 153 dias, findos os quais procedeu-se a colheita das plantas, separando-as em caule acima do primeiro nó e raiz. O guandu foi seco em estufa a 70º C e moído. Foram retiradas amostras de terra e parte aérea do vegetal, em quantidades suficientes para análises. O restante do guandu foi misturado com a terra do mesmo tratamento e incubado por 173 dias, quando foi semeado o arroz cultivar IAC-106, adubando-se com N, K e Zn. Foram feitas duas aplicações foliares de Fe. Foram cultivadas quatro plantas por vaso e colhidas com 95 dias. As culturas foram irrigadas por sistema automatizado com controle da quantidade de água. Para avaliação agronômica foram analisados: teor de P

disponível na terra, produção de matéria seca da planta de guandu e do arroz, teor e acúmulo de fósforo. Para avaliação microbiológica foram analisadas: biomassa microbiana, respiração basal, fosfatase, desidrogenase, colonização radicular, contagem de esporos e quociente metabólico. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5%. Conclui-se que: o teor de fósforo disponível no solo indica que os 173 dias de incubação das plantas de guandu não são suficientes para a sua mineralização total; apesar da maior exportação de fósforo contido nas plantas de arroz, o superfosfato triplo ainda deixa maior teor residual de P disponível que a fosforita; o crescimento das plantas de guandu é diretamente influenciado pela inoculação do fungo micorrízico *Glomus etunicatum* e pela solubilidade das fontes testadas de fósforo; melhores resultados de produção de matéria seca, maior eficiência das fontes de fósforo no acúmulo de P pelo arroz e estabelecimento da associação micorrízica são obtidos com o cultivo prévio do guandu; a atividade e a biomassa microbianas são estimuladas pelo cultivo prévio do guandu e dependem da fonte de P aplicada.

Palavras-chave: *Glomus etunicatum*, fontes de fósforo, eficiência agronômica e microbiológica.

MOLTOCARO, Rafaela Carolina Rangni. **Pigeon-pea and mycorrhiza for phosphate rock utilization by rice under greenhouse conditions**. 2007. 49f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Produção Agrícola) – Pós-Graduação – IAC.

ABSTRACT

Phosphorus is a nutrient for plants and animals. Its stock in nature is finite, and there is a prevision that it would be the first nutrient to be drained in few decades. Thus, its use in the industry and in the agriculture has to be as efficient as possible. The aim of this research was to verify the residual effect of pigeon-pea plants produced with and without innoculation of mycorrhizal fungi on the phosphous gathering by rice plants. Two P sources were tested, and plant chemical traints and soil microbiological traits were evaluated. The greenhouse experiment was conduced at the Experimental Station of the Leguminous Sector of Instituto Agronomico at Campinas, and was performed using the completely randomized design in a 3x4 factorial scheme with six replications. The sources of phosphorus were: fosforita with 10.5% total P, triple superphosfate with 17.9% total P, and a check; the pigeon-pea inoculation factor were the four combinations between cultivated or non-cultivated pigeon-pea and mycorrhizal or non-mycorrhizal fungi. The dose of phosphorus applied on the soil was 80 mg kg^{-1} . Soil from the same Experimental Station was used as substratum for plants in the pots. According to the soil analizys, the available phosphorus level was intermediate, the soil respiration was 137.3 g soil $^{-1}$, the microbial biomass was 55.2 µg CO_2 day $^{-1}$, and there were 80 native FMAs spores by 100ml. The soil sample was sieved and conditioned in 5.2 kg pot. K and B was used in the all pots. The other fertilizers were mixed with non-sterilized soil. The *Glomus etunicatum* inoculation was done by the application of 1200 spores pot^{-1}, broasdcasted, 3 cm above the soil level. Four plants of IAC – Fava Larga pigeon-pea cultivar were grown for 153 days, and harvested, separating the stem above the first node of the plants from their roots. The pigeon-pea plants were dried at 70º C in a forced air oven, weighed and milled. Enough quantities of soil and above ground part of the plants were sampled for the analysis. The remainder was mixed with soil and incubated for 173 days, when IAC-106 rice cultivar was sown. N, K, and Zn fertilizers were applied. Two foliar application of Fe were done. Four plants were grown in each pot. The plants were irrigated using automatized system for water control. The plants were harvested 95 days after the sowing. For the agronomical evaluation, following traits were analyzed: available phosphorus content in the soil, pigeon-pea and rice dry matter yield, phosphorus content and accumulation. For microbiological evaluation, the traits analyzed were: microbial biomass, basal respiration, fosfatase, desidrogenase, radicular colonization, spores counting, and metabolic rate. Anlysis of variance was done and the means were compared by the Tukey test, at 5% of probabilitity. The conclusions were: 173 days of incubation are not sufficient for the total mineralization of the plants; compared with the other phosphate sources, residual available P level found in the soil is bigger when triple superphosphate was applied, the pigeon-pea growth is directly influenced by the micorrhyza, and by the solubility of the tested phosphorus source; radicular colonization is bigger only when fosforita is used; when pigeon-pea is not cultivated, the rice plants accumulate P with the same efficiency as the checks, irrespective which source of P is used, but when fosforita is used in association with pigeon-pea and in the absence of micorrhiza, the Pn accumulation by rice plants is bigger; to obtain bigger rice radicular colonization and dry matter yield, the sources of P depend on pigeon-pea, the microbial

activities are stimulated by pigeon-pea an d its maximum occurs immediately after incubation, with posterior decreasing, but does not depend on the micorrhiza.

Key words: *Glomus etunicatum*, P sources, agronomic and microbiological efficiency

1 INTRODUÇÃO

Devido ao maior intemperismo a que foram submetidos na sua formação, de uma maneira geral, os solos brasileiros têm baixa fertilidade natural devido à elevada acidez, baixa saturação por bases, toxicidade de alguns elementos químicos e baixa disponibilidade de nutrientes, entre eles o fósforo. LOPES (1983) reportou a relevância desse nutriente para a agricultura brasileira ao afirmar que após a calagem, é o fator nutricional mais limitante para a agricultura em solos sob vegetação de cerrado.

O fósforo é um dos treze nutrientes tradicionalmente conhecidos das plantas e sua deficiência causa redução na produtividade e também na qualidade do produto obtido, fatores que tornam a sua aplicação imprescindível para a exploração dos solos brasileiros.

Nosso país é relativamente rico em jazidas de fosfatos, que se encontram em regiões de maior demanda pela expansão da agricultura, a região do Brasil Central. Como é natural e pela própria experiência positiva observada em outros países, a utilização inicial dos fosfatos foi aplicando-os simplesmente moídos para o cultivo das plantas de interesse econômico. Todavia, devido à sua composição e mineralogia, a eficiência agronômica dos fosfatos nacionais utilizados para as culturas anuais de rápido crescimento tem sido muito baixa, tornando essa fonte economicamente inviável, além de perder essa matéria prima não renovável para possível solubilização industrial (RAIJ, 1991). A experimentação da aplicação direta de fosfato natural brasileiro e a comercialização foram realizadas nos anos 70 a 90 do século passado, entretanto sem sucesso técnico e econômico.

O interesse pela agricultura orgânica teve início nos anos 80 com expansão muito significativa, cuja prática prescreve a eliminação do uso de insumos industrializados como defensivos e adubos solúveis. Esse nicho de atividade agrícola faz retornar a importância dos nossos fosfatos naturais, cabendo à pesquisa melhorar sua eficiência agronômica por meios culturais, microbiológicos ou outros. Assim, plantas como guandu que, segundo a literatura, mostra maior capacidade de absorção do fósforo, alcançada por meio dos ácidos orgânicos exsudados pelas raízes, solubilizariam as apatitas. Juntamente com essa característica é importante a presença de fungos micorrízicos, que em simbiose mutualística com as raízes apresentam hifas, que servem como prolongamento dos pêlos absorventes. A movimentação do fósforo na solução do solo (onde o P encontra em baixa

concentração) ocorre por difusão e, portanto, em distância mínima, podendo ser parcialmente atenuada com o crescimento destas hifas, o que permite que o sistema de absorção tenha um volume maior de exploração do solo.

O objetivo deste trabalho foi verificar 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.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fósforo no Solo e na Planta

Geralmente os solos brasileiros são pobres em fósforo disponível, e, por conseguinte, a adubação desse nutriente é uma das práticas que mais elevam a produtividade da agropecuária, desde que outros fatores da produção não se apresentem ainda mais limitantes. RAIJ (1991) cita o fósforo como o macronutriente exigido em menores quantidades pelas plantas, porém como 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 de Fe e Al e/ou precipitação com os mesmos íons como detalhado por KAMPRATH (1977).

Na planta, o fósforo é mais conhecido pela sua função de transferência de energia para o crescimento e reprodução, sendo contido nas moléculas de ATP e ADP, além de função estrutural e funcional (NAHAS, 1991). Grande quantidade de fósforo é aplicada nas culturas, porém apenas de 5% a 20% é absorvido pelas plantas em decorrência do fenômeno de fixação que ocorre no solo (RAIJ, 1996).

2.2 Fontes de Fósforo

Existem diversas fontes de fósforo, em que o nutriente é altamente solúvel em água e/ou em citrato de amônio (superfosfatos simples e triplo, fosfatos de mono e diamônio), solúvel em ácido cítrico (termofosfato) e pouco solúvel em ácido cítrico (fosfatos naturais brasileiros). Devido à comprovada eficiência como fontes de fósforo,

os superfosfatos geralmente são utilizados como testemunhas em pesquisas de outras fontes.

Já os fosfatos naturais reativos, que se dissolvem no solo mais lentamente, podem apresentar um efeito residual compensatório (VOLKEISS & RAIJ, 1977). O somatório da sua eficiência, quando estimada em períodos de mais de dois ciclos de cultivo, pode se igualar aos fosfatos solúveis, devido à perda, por fixação, do poder fertilizante das fontes solúveis. Nessa situação, deixa de existir correlação entre a eficiência e a solubilidade (GOEDERT, 1983). Pelas diferenças nos materiais de origem e nos tipos de formação, os fosfatos naturais divergem amplamente na sua composição química. Esse fato também provoca diferenças na reatividade e na solubilidade (SALE & MOKWUNYE, 1993).

O custo da produção do fosfato natural simplesmente moído é logicamente menor devido ao processo industrial mais simples e também por não se utilizar enxofre importado. Assim, houve nas décadas passadas interesse em conhecer as eficiências agronômicas daquelas fontes de fósforo e, por conseguinte, foram efetuados diversos trabalhos envolvendo fontes, doses, manejos, formas e épocas de aplicação, efeito residual, cujos resultados para as culturas anuais não foram técnica e economicamente viáveis (FERREIRA & KAMINSKI, 1979; BRAGA et al., 1980, TANAKA et al., 1984; COUTINHO et al., 1991). A baixa eficiência agronômica foi observada, apesar do solo que recebeu o fosfato natural apresentar maior teor "disponível" (TANAKA et al., 1981), devido ao uso da solução extratora de ácido forte na determinação do nutriente, cuja característica é solubilizar apatita indisponível às plantas.

NOVAIS et al. (1980) citam que o maior tempo de incubação do fosfato de Araxá, assim como o maior número de revolvimentos do solo com o fosfato, foram fatores que diminuíram a eficiência como fonte de fósforo. Em cinco anos de pesquisa de efeito direto e residual com sucessão de culturas anuais e pastagens, GOEDERT & LOBATO (1984) observaram que os fosfatos naturais de Patos, Araxá, Abaeté e Catalão alcançaram índices de equivalência ao superfosfato triplo no máximo de 44%, comprovando a baixa eficiência agronômica daqueles materiais.

RAIJ (1986) estimou a eficiência mínima que os fosfatos alternativos devem alcançar em relação aos superfosfatos, levando-se em consideração além da produtividade, os preços dos dois insumos em questão. Caso o fosfato alternativo custasse de 80% a 50% do preço do superfosfato em termos de P_2O_5, haveria a vantagem de seu uso, se a eficiência fosse respectivamente superior a 90% e 80%,

índices nunca obtidos pelos fosfatos naturais nacionais. O mesmo autor ainda cita que a eficiência agronômica é melhor quanto menor a textura do fosfato e aplicação em solos mais ácidos, condições que proporcionam maior área de contato e solubilização.

Apesar de a experiência do uso do fosfato natural brasileiro apresentar resultados pouco promissores, ALVES et al. (2004) citam o interesse novamente na produção orgânica. Esse sistema de produção agrícola, entre outras prescrições, proíbe o uso de fontes solúveis de nutrientes (BRASIL, 1999; 2001), como os superfosfatos, fosfatos mono e diamônico, o que torna relevante a opção do agricultor pelo emprego de fosfato natural. A utilização de forma racional e eficiente do fosfato natural devido à menor poluição causada ao ambiente, devido ao mercado exigente de produtos orgânicos vegetais e animais, e diminuição da importação de insumos para fabricação de adubos solúveis, apresenta-se como alternativa viável ao nicho de mercado. Atualmente há conhecimento científico suficiente que possibilite e valorize o emprego de fosfato natural na agricultura.

2.3 O Fósforo e a Microbiota do Solo

Todo processo de movimentação de nutrientes no sistema solo-planta envolve mecanismos complexos, muito deles relacionados à transformação e à mobilização dos mesmos pela biota do solo. Como essa interação solo-planta é um sistema aberto, a decomposição da matéria orgânica depende dos processos de transformação efetuados pelos microrganismos do solo, por meio dos quais se podem mensurar a qualidade do solo (SPARLING, 1992).

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). Desse modo, não se pode ignorar os processos de transformação das frações orgânicas, considerando os efeitos e interações das culturas utilizadas como cobertura, dos fungos micorrízicos e da biota do solo (COSTA & LOVATO, 2004). Portanto, levando-se em consideração a biomassa e a atividade microbianas 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.

Segundo PARKIN et al. (1996), a taxa de respiração basal do solo consiste na medida da produção de CO_2 resultante da atividade metabólica no solo de microrganismos, de raízes vivas e de macrorganismos como minhocas, nematóides e insetos. 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 C 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).

A biomassa microbiana é a fração viva da matéria orgânica do solo composta por bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários e algas. Ela é um importante componente na avaliação da qualidade do solo porque atua nos processos de decomposição natural, interagindo na dinâmica dos nutrientes e regeneração da estabilidade dos agregados (FRANZLUEBBERS et al., 1999). A quantidade de biomassa depende das variações sazonais de umidade e temperatura, manejo do solo, cultivo e, também, dos resíduos vegetais. Representa pequena parte da fração ativa da matéria orgânica (DE LUCA, 1998), constituindo apenas 2% a 5% do C orgânico do solo. No entanto, é mais sensível que os teores de C orgânico e N total para aferir alterações na matéria orgânica causadas pelas práticas de cultivo (GAMA – RODRIGUES, 1999). Considerando esses fatores, outro parâmetro adequado é o quociente metabólico que representa a quantidade de CO_2 liberado por unidade de biomassa microbiana (MOREIRA & MALAVOLTA 2004).

VISSER & PARKINSON (1992) sugeriram a análise da atividade das desidrogenases como indicadora do estado metabólico da biomassa, dado o seu relacionamento direto com a atividade de oxidação da matéria orgânica, pois essas enzimas só ocorrem em células vivas.

Outra forma de avaliar a dinâmica do P no solo é pela atividade de enzimas que participam do processo de mineralização do fósforo hidrolisando ésteres de fosfato a fosfato inorgânico (NAHAS, 1991). Segundo CASIDA (1964), os compostos de P orgânico do solo constituem-se, principalmente, de fitinas, ácidos nucléicos, fosfolipídios e seus derivados. São hidrolisados por enzimas dos grupos das fitases, nucleases e fosfolipases, podendo formar, no final do processo de hidrólise, fosfomonoésteres que são hidrolisados pelas fosfomonoesterases (PANG &

COLENKO, 1986). Essas enzimas são conhecidas genericamente pelo nome de fosfatases e catalisam a hidrólise de compostos fosfatados orgânicos com a produção de fósforo solúvel. Inúmeras fosfatases são reconhecidas por sua habilidade em hidrolisar mono ou diésteres fosfóricos (FEDER, 1973), tendo sido estudadas em vários microrganismos, em seus aspectos bioquímicos e fisiológicos (HAN et al., 1987). Como são produzidas por plantas e microrganismos presentes no solo, sua atividade está sujeita à influência de diversos fatores. APPIAIH & THOMAS (1982) observaram que a adição de fosfato solúvel diminui a atividade da fosfatase, enquanto HAYNES & SWIFT (1988) demonstraram que não influencia o conteúdo de P disponível no solo. Segundo APPIAIH & THOMAS (1982) e CLARHOLM (1993), o fósforo do fosfato solúvel correlaciona-se com a atividade da fosfatase no solo.

Com o objetivo de correlacionar a atividade da fosfatase a outros parâmetros que podem também estar intrinsicamente ligados, COSTA & LOVATO (2004) avaliaram a atividade de fosfatases na dinâmica do fósforo do solo em culturas de cobertura de espécies micorrízicas e não micorrízicas. Concluíram que as culturas de cobertura têm efeito regulador na atividade enzimática ligada à mineralização de fosfatos orgânicos no solo e que esse efeito depende do caráter micorrízico ou não micorrízico das espécies utilizadas, cuja influência persiste durante os cultivos subseqüentes.

BARROTI & NAHAS (2000) mostraram que, para a produção de algumas culturas, os fatores bióticos têm uma influência decisiva na disponibilidade de P, principalmente devido à atividade de fosfatases, e que poucos são os trabalhos que procuram caracterizar o efeito das plantas e das fontes de fósforo na produção dessas enzimas. Os autores ainda concluíram que além dos fatores bióticos, os abióticos, como aplicação de fósforo solúvel e insolúvel, influencia o processo de mineralização do P, o qual, entretanto, sozinho não satisfaz as necessidades da planta.

Assim esses conhecimentos podem contribuir na identificação dos mecanismos envolvidos na dinâmica biológica do fósforo e no entendimento das interações solo-planta em sucessão de culturas, agregando respostas a pontos não esclarecidos apenas pela dinâmica da fase inorgânica do fósforo.

A solubilização microbiana de fosfatos inorgânicos insolúveis propicia fosfato solúvel às plantas e microrganismos do solo. Alguns mecanismos podem estar envolvidos nessa solubilização: - liberação de ácidos orgânicos pelos microrganimos, que podem tanto diminuir o valor do pH quanto atuar como agentes quelantes dos metais dos fosfatos de rocha, liberando fosfato solúvel; - liberação de prótons (H^+)

resultante da assimilação de NH_4^+ durante o crescimento microbiano; - produção de ácido carbônico na respiração e produção de ácidos inorgânicos oriundos do metabolismo de microrganismos quimiolitotróficos (NAHAS, 1991). Em levantamento realizado por KUCEY et al. (1989) são apresentados 20 microrganismos solubilizadores de fosfatos com os seus respectivos ácidos predominantes produzidos. Em condições de laboratório, GOENAD et al. (2000) observaram aumento de 2% na solubilidade em ácido cítrico do fosfato de Marrocos, incubado com o fungo solubilizante *Aspergillus niger* Bcc F. 194, que foi isolado de solo tropical ácido.

A fim de avaliar a eficiência na absorção de fósforo, BARROTI & NAHAS (2000) estudaram o efeito de três espécies de plantas, de três fontes de fósforo e de duas doses de calagem sobre a comunidade microbiana solubilizadora de fosfato. Entre outros resultados, concluíram que as bactérias assim como os fungos solubilizadores foram favorecidos com a combinação guandu mais fosfato natural. Outros estudos também foram realizados, como o de NAHAS et al. (1994), que correlacionaram dados da comunidade de microrganismos solubilizadores de fosfato e sete parâmetros químicos de treze solos da região de Jaboticabal, coletados da camada de 0-15cm. As bactérias não se correlacionaram significativamente com quaisquer parâmetros, enquanto os fungos apresentaram correlação significativa com o teor de matéria orgânica, fosfatase ácida e fosfatase alcalina, e não significativa com fósforo disponível, fósforo orgânico, fósforo total e pH.

Ao se compreender a dinâmica biológica do nutriente, vários processos, como a utilização de fontes naturais de fósforo e o aproveitamento de fontes solúveis pode ser otimizado. Desde a década de 70, já se constatou a relação altamente sinérgica entre o emprego de fosfatos de rocha, o estabelecimento da associação micorrízica e inoculação de microrganismos solubilizadores de fósforo.

A associação entre plantas terrestres e fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) é uma das mais antigas e difundidas das simbioses na natureza (REDECKER et al., 2000; SIMON et al., 1993). As micorrizas são consideradas parte integral e funcional das raízes das plantas. Esses fungos 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 a comunidade vegetal e a comunidade fúngica é relevante para os agroecossistemas, sobretudo aqueles que envolvem rotação de culturas e culturas intercalares (MIRANDA et al., 2005).

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 P. Devido à suplementação na capacidade de absorver nutrientes do sistema radicular da planta, os FMAs 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 a 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.

THINGSTRUP et al. (2000) constataram que as micorrizas diferem na eficiência para a absorção de P em função das concentrações de fósforo no solo, pois a contribuição relativa desses fungos foi estimada em 77 e 49% para solos com baixos e altos níveis de P respectivamente. Assim, PEREIRA et al. (1996), trabalhando com *Glomus etunicatum* em espécies arbóreas, observaram que mesmo com menores teores de P na parte aérea, as plantas desenvolveram-se mais com as doses aplicadas de adubo nitrogenado, superando o tratamento de 360 mg P kg^{-1}. Verificaram também que a micorrização aumentou a concentração de nitrogênio nas plantas em 2,6 vezes, enquanto a aplicação de fósforo aumentou somente 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 P no solo, que, uma vez absorvido pelo micélio externo do fungo, será translocado pela hifa fúngica até a raiz da planta hospedeira. BAREA et al. (1997) citam que esse auxílio pode também ser devido ao aumento da colonização micorrízica das raízes, porque esses solubilizadores produzem produtos metabólicos específicos como vitaminas, aminoácidos e hormônios.

SOUCHIE et al. (2006) estudaram o sinergismo entre fungos solubilizadores e micorrízicos na solubilização de fósforo. Concluíram que a espécie *Trifolium platense* foi favorecida pela inoculação de *Aspergillus* sp. (PSF7), *Glomus clarum* e *Glomus glosporum*, evidenciando relação positiva entre esses microrganismos.

A rotação de culturas e as práticas de fertilização são determinantes para assegurar a abundância de propágulos de FMAs e perpetuar os benefícios da micorrização (ABBOTT & ROBSON, 1994). Como pode haver benefícios às culturas

subseqüentes, essa interação é relevante para os agroecossistemas, sobretudo aqueles que envolvem rotação de culturas e culturas intercalares, (MIRANDA et al., 2005).

2.4 Guandu (*Cajanus cajan* L.)

O guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) é planta da família Fabaceae, antiga Leguminosae, cuja origem indica ser da Índia, Leste da África ou até da Austrália (MAESEN, 1990). É espécie difundida em pequenos estabelecimentos rurais, muito usada como adubo verde, quebra-ventos, forragem e na alimentação humana. Tem grande capacidade de fixar o N atmosférico e adapta-se a diferentes condições ambientais (ALVES et al., 2004).

É considerada planta pouco exigente em relação à fertilidade do solo (JOHANSEN, 1990). A produtividade de fitomassa pode alcançar até 11 t ha^{-1} e contribuir com incorporação de 283 kg ha^{-1} de N e 23 kg ha^{-1} de P (MOREIRA, 2003; ALVES et al., 2004).

Segundo SHELDRAKE & NARAYANAN (1979), as plantas de guandu cultivadas no campo apresentam na lâmina foliar as seguintes faixas de concentrações de fósforo: 3,5-3,8 g kg^{-1} aos 30 dias de idade; 3,0-3,3 g kg^{-1} aos 60 dias; 1,9-2,8 g kg^{-1} aos 90-100 dias; 1,5-2,0 g kg^{-1} aos 120-130 dias e 1,5-1,8 g kg^{-1} aos 160-165 dias. Essas amplitudes podem sofrer modificações em função de cultivares e principalmente das diversas épocas possíveis de semeadura. Possui um sistema radicular pivotante e de alta capacidade de aprofundar-se, proporcionando o caminho inverso da lixiviação de nutrientes. Essa característica de deixar os nutrientes na superfície do solo possibilita às culturas de sistema radicular fasciculado e raso, como as gramíneas, aproveitar os nutrientes que antes do cultivo do guandu eram impossíveis de serem absorvidos. Também, pode proporcionar maior recuperação do fósforo nativo e do aplicado, maior disponibilidade de todos os nutrientes pela ciclagem e fixação biológica de N_2 atmosférico em simbiose com os rizóbios.

Além de todos esses benefícios, AE et al. (1990) reportaram que as raízes do guandu exsudam ácidos orgânicos, principalmente o cítrico, que agem na solubilização do fósforo ligado ao Ca. Também comprovaram que o fósforo do fosfato natural ou nativo do solo foi solubilizado pelo ácido piscídico produzido pelas raízes do guandu, sendo então disponibilizado no solo ou absorvido pela própria planta. Quando absorvido com maior intensidade pelas plantas, pela mineralização do guandu, considerada mais

lenta em relação a outras leguminosas, o P pode permanecer disponível por mais tempo uma vez que a planta possui relação C/N mais elevada e pertence a compostos de carbono mais recalcitrantes (CARVALHO & AMABILE, 2006). Essa leguminosa, de excelente potencial como cultura de cobertura pelas suas características inerentes, pode também apresentar outros atributos vantajosos no intuito de se obter respostas maximizadas na absorção de P, principalmente de materiais insolúveis, pois é planta hospedeira de fungos micorrízicos. Na Austrália, relata-se que o guandu tem potencial produtivo reduzido em 60-80% se cultivado na ausência da micorriza, existindo somente uma espécie mais sensível, a linhaça que não produziria nada na mesma condição (http://www.dpi.gld.gov.au/fieldcrops/9489.html). Segundo BEVER et al. (1996) a planta hospedeira pode ser um dos principais fatores que regulam a composição e a estrutura das comunidades de FMAs, pois cada fase de seu desenvolvimento, como germinação de esporos, crescimento de hifas, colonização radicular e esporulação, é influenciada pelas raízes das plantas. O International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT, 1988) relata que o guandu é bastante dependente do fungo micorrízico para a absorção de fósforo, principalmente quando cultivado em solo com menor teor do nutriente.

Por ser recente o conhecimento da maior capacidade do guandu em absorver fósforo, os trabalhos são raros sobre o assunto, havendo alguns efetuados na Índia. No Brasil, existe somente o que foi realizado por NOVAES et al. (1998), em Latossolo Vermelho Amarelo da região de São Carlos, com teor em solução de ácido sulfúrico de 0,05N de 1μg P mL^{-1} de TFSA. Os autores verificaram ausência de resposta do guandu às doses de adubação fosfatada tendo como fonte o fosfato natural de Araxá. As poucas informações existentes no momento significam que é necessário realizar mais pesquisas nessa linha a fim de elevar a eficiência no aproveitamento do fosfato natural aplicado diretamente ao solo, objetivando produtividade, economicidade, sustentabilidade e menor agressão ao meio ambiente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento teve seus cultivos sucessivos de guandu e arroz realizados em casa-de-vegetação durante o período de agosto de 2005 a novembro de 2006, no Setor de Leguminosas do Centro de Grãos e Fibras do Instituto Agronômico.

3.1 Características do Substrato

Para a realização do experimento coletou-se amostra de solo da camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho Eutroférrico, oriundo do Centro Experimental de Campinas. Sua análise química apresentou as seguintes características: matéria orgânica = 30 g dm^{-3}; P (resina) 27 mg dm^{-3}; pH em $CaCl_2$ = 5,4; cátions trocáveis em $mmol_c$ dm^{-3}: Ca = 18; Mg = 9; K = 2,3; e Al = 22; CTC a pH 7 de 51,3 $mmol_c$ dm^{-3} e saturação por bases de 57%. Também foi caracterizada a atividade microbiana do solo por meio da respiração basal e biomassa microbiana, cujos valores foram de 55 µg CO_2 g dia^{-1} e 137 µg C g $solo^{-1}$ respectivamente; havia cerca de 80 esporos de FMAs nativos por 100 g de terra.

3.2 Delineamento e Preparo das Unidades Experimentais

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema fatorial 3x4 com seis repetições. Foram testadas as seguintes fontes de fósforo: (a) fosforita (FO) com 10,5% de P total - cuja eficiência agronômica se deseja melhorar com os tratamentos, (b) superfosfato triplo (ST) com 17,9% de P total – como fonte testemunha e (c) sem adubo fosfatado (SP) - como testemunha absoluta.

As unidades experimentais foram representadas por vasos de saco plástico contendo 5,2 kg do solo amostrado, não esterilizado, peneirado em malha de 2 mm. De acordo com a análise do solo e com a estimativa da necessidade de fósforo pela cultura do guandu cultivado no verão, foram aplicados 80 mg de P total kg^{-1} de solo. Os tratamentos de fontes de fósforo foram combinados com o cultivo ou não do guandu e esse recebeu o inóculo ou não.

Na adubação comum a todos os tratamentos foram aplicados 70 mg de K kg^{-1} de solo na forma de cloreto de potássio e 1,2 mg de B kg^{-1} de solo na forma de ácido bórico, que, juntamente com os adubos fosfatados, foram misturados com o solo de cada

vaso. A inoculação do *Glomus etunicatum* consistiu na aplicação de solo-inóculo contendo pedaços de raiz de braquiária colonizada, usada anteriormente para multiplicar o FMA, hifas e cerca de 1200 esporos do fungo por vaso, distribuído a 3 cm da superfície do solo no vaso.

3.3 Cultivo do Guandu

Foi inoculado rizóbio específico nas sementes de guandu cv. IAC-Fava Larga, em dose de 0,5 g do inoculante comercial para 300 sementes; semeadas cinco por vaso em 30 de agosto de 2005. A irrigação das plantas foi feita num sistema automatizado com controle da quantidade de água que não fosse limitante ao crescimento normal das plantas, realizada duas vezes ao dia. Doze dias após a semeadura foi feito o desbaste, deixando-se quatro plântulas por vaso. Após 153 dias da semeadura, procedeu-se a colheita da parte aérea da planta e da raiz, cortando-se o caule no primeiro nó acima do solo.

3.4 Incorporação e Incubação da Fitomassa do Guandu

Toda parte vegetal foi seca a 70º C em estufa com circulação forçada de ar até a obtenção da massa constante, pesada, triturada em moinho de laboratório de análises. Desse material homogeneizado retiraram-se ao redor de 5 g para análise de macro e micronutrientes. O restante do material foi misturado com o volume total do solo do respectivo tratamento e incubado, mantendo-se o nível de umidade adequada, por 173 dias para a mineralização do vegetal e conseqüente liberação de nutrientes, especialmente de P. Apesar das condições de umidade e temperatura propícias para ocorrer a decomposição e a mineralização, observaram-se resíduos das plantas por ocasião da semeadura do arroz.

3.5 Cultivo do Arroz

Ao final do período de incubação foi feita a análise química do solo e baseando-se nos resultados foram aplicados: 80 mg N kg^{-1}, 40 mg K kg^{-1} e 3 mg Zn kg^{-1} de solo, respectivamente nas formas de sulfato de amônio, cloreto de potássio e sulfato de zinco heptahidratado. No dia 7 de agosto de 2006 foi semeado o arroz cv. IAC-106 e 10 dias

após foi feito o desbaste, deixando se 4 plântulas por vaso. O mesmo sistema de irrigação automatizado foi utilizado para aplicação de água nas plantas. No primeiro mês as plântulas desenvolveram sintomas de deficiência de Fe que foram controlados com duas aplicações foliares de sulfato ferroso. Em 10 de novembro foi efetuada a colheita das plantas de arroz, no estádio de pré-florescimento, cortando-se a parte aérea rente à superfície do solo.

3.6 Amostragens do Solo e de Raiz para Avaliações Agronômicas e Microbiológicas

Foram realizadas no decorrer do experimento três amostragens de solo: uma a fim de avaliar as condições do solo (0-20 cm) para utilização como substrato, outra após o período de incubação e imediatamente antes do plantio do arroz, coletando-se amostras das seis repetições, misturando-as numa só, e a terceira após a colheita do arroz coletando-se de todos os vasos.

As raízes do guandu e do arroz foram separadas da terra por meio de peneira de malha de 4 mm, lavadas e amostradas as mais finas do terço médio inferior, armazenadas em vidros com álcool 50% até o momento das avaliações. As demais raízes não utilizadas para as análises microbiológicas foram secas como os órgãos da parte aérea.

3.7 Avaliações Agronômicas

Solo, Guandu e Arroz

Após o cultivo do guandu foram determinados: altura das plantas a partir da primeira inserção da folha, número de entrenós, a matéria seca da fitomassa, teor e quantidade acumulada de P pelas plantas. Das plantas de arroz foram determinados: matéria seca da fitomassa, teor e quantidade acumulada de P pelas plantas e efetuadas as avaliações microbiológicas. O teor de P disponível no solo extraído pela resina foi determinado após o período de incubação do guandu e posterior à colheita das plantas de arroz. Foi calculado o índice de eficiência agronômica da fosforita em relação ao superfosfato triplo por meio da equação:

IEA(%) = (Fosforita – Testemunha)x100/(Superfosfato triplo – Testemunha)

A determinação de P nas amostras de solo foi efetuada segundo RAIJ et al. (1983) e a de nutrientes nas plantas segundo BATAGLIA et al. (1984).

3.8 Avaliações Microbiológicas

Das amostras de solo e raízes coletadas após a colheita das plantas de guandu, após o período de incubação das plantas de guandu e após a colheita das plantas de arroz foram realizadas as seguintes avaliações microbiológicas: carbono da biomassa, respiração do solo, atividade das enzimas desidrogenase e fosfatase, colonização micorrízica e número de esporos de FMAs.

3.8.1 Carbono da biomassa microbiana

O C-biomassa microbiana foi quantificado quatro vezes durante todo o experimento. Uma quantificação foi realizada para a caracterização inicial antes da montagem do experimento, logo após o cultivo do guandu (antes de incubá-lo), imediatamente antes do plantio do arroz (pós incubação) e após sua colheita.

Foi utilizado o método da fumigação-extração (VANCE et al., 1987). As amostras de solo fumigadas com clorofórmio livre de etanol foram incubadas por um período de 3 dias a uma temperatura de 28ºC ± 2ºC. Para cálculo do C da biomassa microbiana foi usado um fator de correção Kc de 0,38. Assim, C-biomassa = (C amostra fumigada - C amostra não fumigada) x 0,38, expresso em μg C g^{-1} de solo.

3.8.2 Respiração basal do solo

A atividade microbiana do solo foi monitorada pela respiração basal nos mesmos períodos em que foi determinado o C-biomassa microbiana, ou seja, antes do início do experimento, após o cultivo do guandu (antes de incubá-lo), imediatamente antes e após o plantio e a colheita do arroz.

O dióxido de carbono liberado de amostras de 50 g de solo reagiu com NaOH 0,1 N e foi determinado por titulação com HCl 0,1 mol L^{-1}, após 3-4 dias de incubação a temperatura de 27 +/- 2ºC, conforme ALEF (1995). O CO_2 liberado foi expresso em μg CO_2 g^{-1} de solo dia^{-1}.

3.8.3 Quociente metabólico (*q*-CO2)

O quociente metabólico, q-CO_2, que representa a quantidade de C - CO_2 liberada por unidade de C - biomassa microbiana, foi calculado segundo ANDERSON (1994), baseado na relação $\mu g\ h^{-1}$ de C-CO2 / $\mu g\ g^{-1}$ de C- biomassa no solo seco.

3.8.4 Atividade da desidrogenase no solo

Essa enzima foi avaliada em 3 épocas do experimento, logo após a colheita do guandu e imediatamente antes e após o plantio e colheita do arroz.

A atividade da desidrogenase no solo foi determinada segundo CASIDA et al. (1964), com algumas modificações. Foram pesados 5 g de solo, em tubo de ensaio rosqueável de 20 mL. Adicionaram-se 5 mL de solução 20 g L^{-1} de cloreto de 2,3,5-trifeniltetrazólio (TTC) em água. Foi preparado um controle contendo solo e água destilada, com o objetivo de excluir possíveis interferências de compostos extraíveis do solo, e um branco contendo metanol. A mistura reatora foi agitada mecanicamente e incubada em banho-maria a 37ºC no escuro, por um período de 24 horas. A absorbância foi determinada por espectrofotometria a 485 nm de comprimento de onda. Transcorrido esse tempo o trifenil formazan (TTF), formado pela redução do TTC, foi extraído com 20 mL de metanol. Após centrifugação, o sobrenadante foi transferido para cubeta e realizada a leitura em espectrofotômetro a 485 nm de comprimento de onda. Determinou-se uma curva padrão usando-se as seguintes concentrações de TTF: 0, 3, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 e 30 mg L^{-1}.

3.8.5 Atividade da fosfatase alcalina no solo

Assim como a desidrogenase a fosfatase também foi avaliada após a colheita do guandu, imediatamente antes e após o plantio e colheita das plantas de arroz, segundo EIVAZI & TABATABAI (1977). Pesou-se 1 g de solo e colocou-se em erlenmeyer de 50 mL, adicionando-se 200 µL de tolueno, 4 mL de tampão universal modificado para pH 11 e 1 mL de solução 0,025 mol L^{-1} de p-nitrofenil fosfato como substrato da enzima. A mistura foi incubada a 37ºC por 1 hora no escuro. Transcorrido esse tempo, adicionou-se 1 mL de $CaCl_2$ 0,5 mol L^{-1} e 4 mL de Na OH 0,5 mol L^{-1}. Utilizou-se um

controle segundo o mesmo procedimento para as amostras de solo mas adicionando o p-nitrofenol fosfato após a adição de $CaCl_2$ e de NaOH e imediatamente antes de filtrar a suspensão. A formação de p-nitrofenol foi determinada por espectrofotometria na região do espectro de 410 nm. Realizou-se uma curva de calibração contendo 0, 10, 20, 30, 40 e 50 μg de p-nitrofenol mL^{-1}.

3.8.6 Determinação da colonização das raízes pelo FMA

A determinação da colonização das raízes pelo FMA foi realizada após a colheita das plantas de guandu e arroz.

A porcentagem do comprimento da raiz colonizada pelo fungo micorrízico foi estimada pelo método da placa quadriculada sob microscópio estereoscópico (GIOVANETTI & MOSSE, 1980), após a despigmentação da raiz com KOH (25 g L^{-1}) e coloração com azul tripano (PHYLLIPS & HAYMAN, 1970). Os dados foram transformados em arco seno da raiz de x 100^{-1}.

3.8.7 Esporulação de FMAs

Esse parâmetro foi analisado em três fases: para caracterização inicial antes da montagem do experimento, logo após a colheita do guandu (antes de incubá-lo) e após a colheita das plantas de arroz.

O número de clamidosporos de FMAs produzidos foi determinado pelo método de lavagens sucessivas e peneiramento úmido (GERDERMAN & NICOLSON, 1963) e centrifugação em solução de sacarose 70%. Os dados de contagem foram transformados em log x.

3.9 Aplicação da Análise Estatística

Utilizando-se o programa SANEST (ZONTA et al., 1984), os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As duas culturas aparentemente não tiveram limitações nutricionais, exceto de fósforo, principalmente na testemunha sem adubo fosfatado e sem fungo micorrízico.

4.1 Fósforo no Solo

A figura 1 ilustra os valores dos teores médios de P disponível dos tratamentos na amostra de solo após o período de incubação das plantas de guandu. A média dos tratamentos com superfosfato triplo foi de 86 mg dm^{-3} de P, independentemente do guandu e da inoculação, evidenciando a eficiência do extrator de resina em indicar a maior disponibilidade da fonte mais solúvel, uma vez que o tratamento (FO) apresentou média de 54 mg dm^{-3} de P. Também em estudo em casa-de-vegetação, TANAKA (1990) verificou que as incubações até por período de 169 dias das amostras de solo com as fontes de fósforo: superfosfato triplo, termofosfato, sílico-magnesiano, parcialmente acidulado e fosfato natural mostraram variações diretamente proporcionais aos teores de P resina em função da solubilidade em citrato + água de cada fonte. Em ambos os trabalhos, esses resultados de relação direta entre teor com a solubilidade foram observados, apesar de as dosagens incubadas baseadas em P total serem sempre as mesmas para todas as fontes.

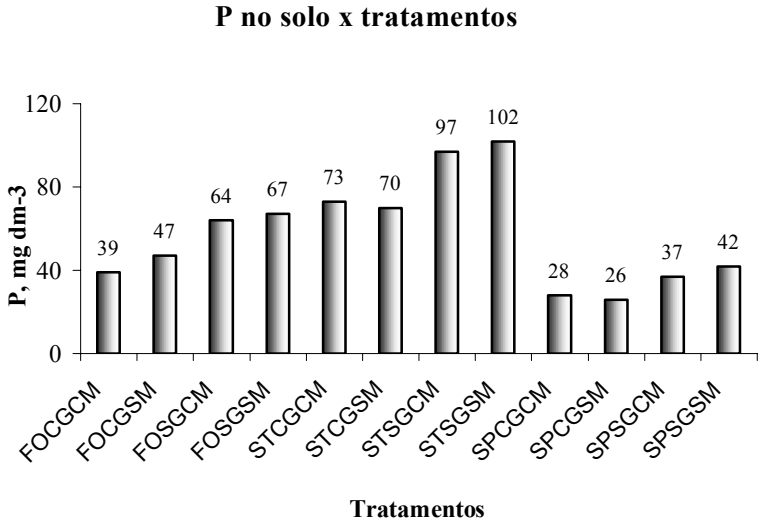

Figura 1- Teor de P disponível na amostra de solo após o cultivo, incorporação e incubação das plantas de guandu produzidas com inoculação do fungo micorrízico e adubadas com fontes de P. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação. FO – fosforita, ST – superfosfato triplo, SP – sem P; CG – com guandu, SG – sem guandu, CM – com micorriza, SM – sem micorriza

BEDIN et al. (2003) enfatizam a importância da solubilidade das fontes de fósforo em relação a sua eficiência, sendo o superfosfato triplo mais prontamente disponível do que a fosforita, favorecendo a absorção e o aproveitamento do nutriente, principalmente pelas culturas anuais.

Apesar dos 173 dias de incubação dos resíduos das plantas de guandu para a liberação de fósforo, os tratamentos com o cultivo daquela leguminosa apresentaram teores de P inferiores aos sem o seu cultivo (Figura 1), indicando que o período não foi suficiente para causar a total decomposição e mineralização. Corrobora esse resultado o de STEWART & SHARPLEY (1987), que relataram que a mineralização do P orgânico dos restos culturais da soja ocorre em taxa muito baixa e de forma demorada.

Houve efeito significativo das fontes de P e do cultivo do guandu no teor de P na amostra de solo e ausência da interação entre esses fatores (Tabela 1). Apesar da maior quantidade exportada de fósforo contida nas plantas de arroz, o superfosfato triplo, fonte de maior solubilidade, ainda deixa maior teor no solo de P disponível que a fosforita (FO) diferença essa significativa. Em relação aos teores apresentados na figura 1, houve queda após o cultivo do arroz, atribuível em grande parte à exportação contida na planta inteira e em menor magnitude à fixação nas partículas do solo. RICHART et al. (2006) em experimento a campo demonstraram que na camada de 0-10 cm não houve diferença significativa entre fosfato natural reativo e superfosfato triplo; no entanto, o primeiro foi significativamente superior na camada de 10-20 cm.

Tabela 1. Teor de P disponível na amostra de solo após o cultivo do arroz em sucessão ao cultivo e incubação das plantas de guandu produzidas com inoculação do fungo micorrízico e adubadas com fontes de P. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação

	Fontes de fósforo			
Guandu e inoculação	S. triplo	Fosforita	Sem fósforo	Média
	---------- P, mg kg^{-1} ----------			
Guandu com inoculação	24,2	22,8	21,5	22,8 B
Guandu sem inoculação	32,0	22,0	21,3	25,1 AB
Sem guandu com inoculação	38,2	27,7	21,3	29,1 A
Sem guandu sem inoculação	30,8	28,5	21,3	26,9 AB
Média	31,3 a	25,2 b	21,4 b	
C.V,.(%)		24,0		

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Os tratamentos de guandu – inoculação proporcionaram diferenças significativas nos teores de P na amostra de solo após o cultivo do arroz, conforme apresentado na tabela 1. O tratamento sem o cultivo do guandu mas com inoculação apresentou-se estatisticamente superior ao com o guandu e inoculação. Isso possibilita inferir que o guandu deixou menor teor de P disponível, porém este pode ser oferecido lentamente por meio da mineralização da matéria orgânica do guandu para as culturas posteriores. Estudos realizados por AE et al. (1990) indicaram que algumas espécies vegetais, como o guandu, apresentam alta capacidade de aproveitamento do fósforo no solo por meio da exsudação de ácidos orgânicos que solubilizariam as formas de P menos disponíveis às outras plantas. Também, o efeito benéfico do cultivo do guandu como adubo verde pode ser observado, pois o teor residual no solo desses tratamentos foi menor, inferindo que o arroz teve melhor ambiente físico, químico e biológico para explorar o substrato. A mineralização de resíduos vegetais ocorre de modo gradual, mantendo constante a liberação de pequenas quantidades de nutrientes, como o fósforo, o que possibilita maior chance de a planta absorvê-lo antes que o solo o fixe. Além disso, substâncias orgânicas continuamente liberadas pela decomposição dos resíduos culturais no solo atuam como "invólucros" sobre os sítios de fixação de fósforo, ou seja, a matéria orgânica reduz a exposição do fósforo à fase mineral do solo, que tem grande poder de fixação. STEWART & SHARPLEY (1987) compilaram inúmeros trabalhos sobre a mineralização do fósforo orgânico e constataram, em um ensaio de 40 anos realizado no Mississipi, que a mineralização dos restos culturais de soja ocorre na taxa de 8 kg $ha^{-1}ano^{-1}$, correspondendo a somente 1% do total. MAZUR et al. (1983) estudaram o efeito da aplicação de 30 t ha^{1-} de matéria orgânica na forma de composto de lixo domiciliar associado a 150 kg ha^{-1} de superfosfato triplo, na presença ou ausência de calcário, de fosfato de rocha e de nitrogênio. Os autores concluíram que a ação da matéria orgânica na maioria dos tratamentos foi positiva, com indicações de redução na fixação de fósforo e/ou a mineralização da matéria orgânica, liberando maiores teores de fósforo assimilável.

4.2 Guandu: Crescimento e Nutrição com Fósforo

As fontes de fósforo e a inoculação com fungo micorrízico alteraram significativamente a altura de plantas e o número de entrenós, não ocorrendo interação, conforme mostrado na tabela 2. Valores estatisticamente maiores foram observados para

a altura e o número de entrenós das plantas de guandu com a inoculação de *Glomus etunicatum* em relação à sem inoculação, evidenciando a contribuição positiva daquela prática no desenvolvimento vegetal. A simples aplicação do fósforo, independentemente da inoculação, proporcionou que os mesmos parâmetros apresentassem dados estatisticamente superiores à testemunha sem a aplicação do nutriente.

Tabela 2. Altura das plantas de guandu e número de entrenós em função das fontes de fósforo e inocubação com fungo micorrízico. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação

Guandu e inoculação	Fontes de fósforo			Média
	S. triplo	Fosforita	Sem fósforo	
	---------- **Altura, cm** ----------			
Guandu com inoculação	169	164	157	163 A
Guandu sem inoculação	151	161	143	152 B
Média	160 ab	162 a	150 b	
CV, (%)	7,0			
	---------- **Entrenós, nº** ----------			
Guandu com inoculação	44	43	40	43 A
Guandu sem inoculação	41	42	39	41 B
Média	43 a	43 a	39 b	
CV, (%)	6,2			

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Segundo WUTKE (1983), o manejo da fitomassa de guandu no campo é recomendado no estádio da floração plena das plantas, que com a idade de dois anos, podem apresentar raízes com 3 metros de profundidade, com predomínio na camada arável e produtividade de 6,2 t ha^{-}. No presente estudo, em vasos e em casa-de-vegetação, não havia por ocasião do corte indícios morfológicos da formação de botões florais. A figura 2 ilustra a produção de matéria seca do guandu em função das fontes de fósforo e da inoculação. Não houve diferença significativa entre o ST e a FO, mas estes apresentaram em relação à testemunha sem adição de P. Geralmente a produção de massa vegetal devido às aplicações de fontes de P resulta em valores diretamente proporcionais às suas respectivas solubilidades em extratores indicadores dessa característica.

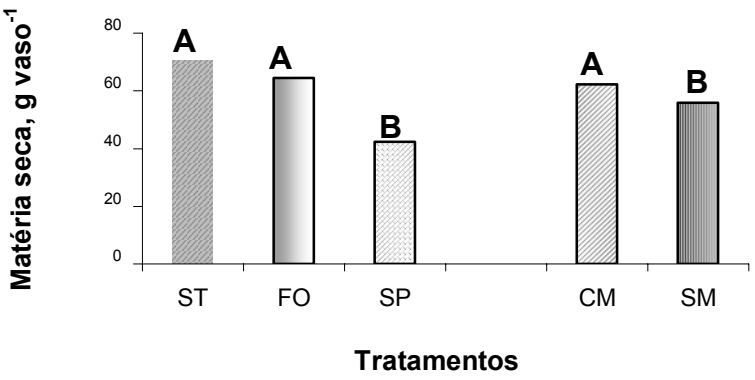

Figura 2- Massa de matéria seca total das plantas de guandu cultivadas com supertriplo (ST), fosforita (FO) e sem fósforo (SP), com (CM) ou sem (SM) inoculação de fungo micorrízico. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação.

A inoculação do FMA incrementou de maneira significativa a massa de matéria seca, independentemente da fonte de fósforo utilizada, como observado também na altura e no número de entrenós das plantas (Tabela 2). Os fungos micorrízicos podem influenciar o desenvolvimento das culturas e das plantas condicionadoras de solo, ampliando a magnitude de seus benefícios para as culturas subseqüentes (ESPINDOLA, 1998).

A micorriza na absorção de nutrientes tem sido considerada alternativa para incrementar a produtividade. A solubilização provocada pela atividade microbiana ou radicular pode aumentar a disponibilidade de P no solo, que, uma vez absorvido pelo micélio externo do fungo, será translocado pela hifa até a raiz da planta hospedeira. Notabiliza-se no presente resultado a produção proporcionada pela fosforita, cujo tratamento não diferiu da fonte solúvel, o superfosfato triplo, ressaltando-se ainda o possível aproveitamento diferenciado pelos FMAs, uma vez que fosfatos naturais liberam de forma gradativa o fósforo, proporcionando aos fungos micorrízicos maior possibilidade de absorvê-lo e disponibilizá-lo para as plantas.

Estes resultados, relacionados com os dados da Tabela 1, demonstram que o cultivo do guandu proporcionou menor teor de P no solo, evidenciando a potencialidade do guandu em possibilitar maior absorção e interação positiva com FMAs e por conseguinte, elevar a produtividade das culturas sucessoras, já observados por AE et al. (1990).

GOEDERT (1983) descreve que os fosfatos naturais reativos, que se dissolvem no solo mais lentamente, podem apresentar um efeito residual compensatório. O somatório da sua eficiência, quando estimada em períodos de mais de dois ciclos de

cultivo, pode se igualar aos fosfatos solúveis, devido à perda por fixação do poder fertilizante das fontes solúveis. Nessa situação, deixa de existir correlação entre a sua eficiência e a solubilidade.

A colonização radicular do guandu dependeu das fontes de P e também da inoculação, além disso, houve interação entre ambos os fatores (Tabela 3). Assim, em amostra de solo somente com os FMAs nativos a colonização relacionou-se diretamente com a solubilidade das fontes de P testadas, enquanto com a inoculação de *Glomus etunicatum*, os tratamentos que receberam P proporcionaram valores semelhantes de colonização radicular e superiores à testemunha absoluta. A interação mostra que houve aumento significativo na colonização somente quando aplicado na forma de fosforita. Assim, os dados da tabela 2, corroboram esses resultados, pois, os parâmetros de crescimento, altura de plantas e números de entrenós indicaram maiores valores para os tratamentos com guandu e inoculação. O superfosfato triplo e o fósforo nativo não se beneficiaram da inoculação para elevar a percentagem de colonização (Tabela 3). As micorrizas são consideradas parte integral e funcional das raízes das plantas e os fungos envolvidos têm ligação direta entre o solo e as raízes. A influência das micorrizas na nutrição mineral de plantas é de suma importância para nutrientes que se movimentam por difusão (pequena distância) na solução do solo, como o P. Devido à suplementação na capacidade de absorver nutrientes do sistema radicular da planta, os FMAs são os simbiontes que podem estimular o crescimento das plantas também pela maior tolerância à condição de deficiência hídrica, tolerância da planta a metais pesados, em locais contaminados, e resistência a patógenos do solo (SILVEIRA, 1992).

É possível que nem sempre uma boa colonização radicular contribua para maior absorção de fósforo. São inúmeros os fatores que influenciam essa atividade, porém infere-se que raízes bem colonizadas possuam o sistema de absorção estendido e assim, mesmo numa situação crítica de carência de fósforo e apesar da movimentação por difusão ser a distância mínima, ainda absorvê-lo. MENGEL & KIRKBY (1982) relataram que a influência da micorriza nas plantas em crescimento e na absorção de fósforo é mais acentuada em solos com limitações do mesmo nutriente. No presente trabalho, a colonização foi menor no solo sem a aplicação de fósforo e os dados relatados por MIRANDA & MIRANDA (2001) corroboram esses resultados, sendo eles: 49, 52, 60, 51, 49 e 49% de colonização radicular, respectivamente nas culturas *Crotalaria ocroleuca*, guandu cv. Kaki, feijão-bravo-do-ceará, girassol, milheto e mucuna-cinza.

Tabela 3. Percentagem de colonização radicular de plantas de guandu em função das fontes de fósforo e fungos micorrízicos. Ensaio em vasos e em casa-de-vegetação

Guandu e inoculação	Fontes de fósforo			Média
	S. triplo	Fosforita	Sem fósforo	
	---------- Colonização, % ----------			
Guandu com inoculação	50 a A	57 a A	37 b A	48
Guandu sem inoculação	53 a A	47ab B	42 b A	47
Média	52 a	52 a	39 b	
CV, (%)	8,8			

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

São apresentados na figura 3 os dados dos teores de fósforo na parte aérea de plantas de guandu, devido às fontes e à inoculação com fungo micorrízico, observando-se efeito significativo dos fatores estudados. O superfosfato triplo proporcionou maior concentração de fósforo nas plantas de forma que a diferença foi significativa em relação à testemunha sem fósforo e também à fosforita. Todos os teores de fósforo foram inferiores aos 1,4 mg kg^{-1} indicados na revisão de WUTKE (1983); enquanto SALMI et al. (2006) verificaram em ramos e folhas podados de seis genótipos de guandu amplitude de teor entre 1,4 e 1,6 mg kg^{-1}. A diferença de razoável magnitude observada no presente trabalho deve ser atribuída à fertilidade do solo e principalmente ao estádio da planta por ocasião da coleta para a análise. O teor de P na parte aérea, ilustrado pela figura 3, assemelha-se ao de P acumulado (Figura 4). Para ambos, há diferença significativa: os tratamentos superfosfato triplo e fosforita diferenciam-se da testemunha independentemente da inoculação, significando que as plantas adubadas com as duas fontes de fósforo foram eficientes no acúmulo de fósforo, uma vez que os dados de matéria seca (Tabela 2) também comprovam esses resultados.

Em trabalho realizado por RICHART et al. (2006) estudando a disponibilidade de P e S para a soja com fosfato natural reativo, superfosfato triplo e S elementar, verificou-se que houve superioridade do segundo sobre o primeiro em acúmulo de P no tecido das plantas.

A quantidade acumulada de fósforo na parte aérea das plantas de guandu (Figura 4) foi influenciada pelas fontes de fósforo. O superfosfato triplo proporcionou índices superiores em 32% e 52% em relação respectivamente à fosforita e à testemunha de

fósforo. Os adubos fosfatados apresentaram diferença significativa em relação à testemunha, numa relação direta à solubilidade de cada uma das fontes estudadas.

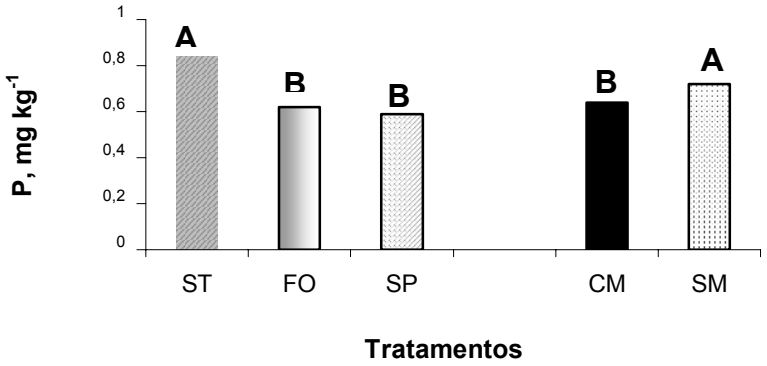

Figura 3 – Teor de P na parte aérea das plantas de guandu cultivadas com supertriplo (ST), fosforita (FO) e sem fósforo (SP), com (CM) ou sem (SM) inoculação de fungo micorrízico. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. Ensaio em vasos e em casa-de-vegetação.

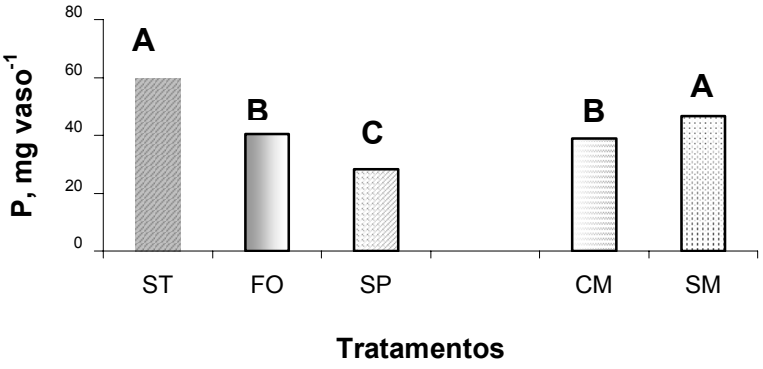

Figura 4- Fósforo acumulado na parte aérea das plantas de guandu cultivadas com supertriplo (ST), fosforita (FO) e sem fósforo (SP), com (CM) ou sem (SM) inoculação de fungo micorrízico. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Contrariando a expectativa, a inoculação do fungo resultou em menores valores de teor e acúmulo de P, independentemente das fontes avaliadas. Entretanto, o guandu é considerado bastante dependente do fungo micorrízico para a absorção de fósforo, principalmente quando cultivado em solo com menor teor do nutriente (ICRISAT, 1988).

4.3 Arroz: Crescimento e Nutrição com P

Os dados dos teores de fósforo na parte aérea das plantas de arroz estão apresentados na tabela 4. Houve interação significativa entre os fatores em estudo, de maneira que sem o cultivo do guandu não se observaram efeitos dos fungos micorrízicos tanto nativos quanto do inoculado. Com o cultivo do guandu, os FMAs nativos proporcionaram valores semelhantes nos tratamentos que receberam o fósforo, cujos valores foram estatisticamente superiores à testemunha sem fósforo. Já no tratamento guandu com inoculação, a fonte mais solúvel proporcionou a maior concentração do fósforo nas plantas de arroz. A inoculação não resultou em variações significativamente distintas nos teores das plantas de arroz cultivado sem adubação fosfatada e no tratado com a fosforita. Por outro lado, com o superfosfato triplo, somente com o cultivo do guandu, independentemente da inoculação, houve maiores concentrações de fósforo no arroz. Isto significa que o fósforo de fonte solúvel, absorvido pelo guandu, incorporou-se nas formas orgânicas, mineralizou-se e foi mais aproveitado pelo arroz que daquele que não teve o cultivo da leguminosa. Portanto, pode-se inferir que o fósforo do superfosfato triplo aplicado, sem o posterior cultivo do guandu, teve parte do mesmo fixado pelas partículas do solo, tornando-se menos disponível às plantas de arroz.

Na quantidade acumulada de fósforo na parte aérea das plantas de arroz, observou-se interação significativa entre os fatores em estudo (Tabela 4). Houve discriminação entre as fontes de fósforo somente quando cultivadas com o guandu. Assim, no guandu sem a inoculação do FMA, a fosforita e o superfosfato triplo proporcionaram valores estatisticamente semelhantes na quantidade acumulada de fósforo pelo arroz, cujos valores foram superiores à testemunha. AE et al. (1990) relataram que as plantas de guandu além de proporcionarem a solubilização dos fosfatos aumentam a produtividade das culturas em sucessão por melhorar a qualidade do solo pela ação da rotação de culturas. Já no guandu colonizado também pelo *G. etunicatum* , a fosforita apesar de ter proporcionado maior absorção de fósforo não diferiu da testemunha absoluta e ambos foram superados pelo superfosfato triplo. Independentemente da inoculação, as fontes de fósforo não diferiram da testemunha sem fósforo, provavelmente devido ao tempo que ficaram incubadas com o solo, o que deve ter provocado a fixação pelos óxidos e hidróxido presentes no solo, conforme trabalho de KAMPRATH (1977). Esses dados concordam com aqueles obtidos por

NOVAIS et al. (1980) que relataram a diminuição da eficiência do fosfato de araxá como fonte de P, devido ao seu maior tempo de incubação, assim como ao maior número de revolvimento do solo. Por outro lado, TANAKA (1990) em estudo realizado em vasos, incubando o solo até 169 dias com fontes de P de várias solubilidades, concluíram que a eficiência agronômica dos fosfatos foi inversamente proporcional à solubilidade e também ao tempo de incubação. Fixando-se o fator fonte de fósforo, verifica-se que a inoculação não alterou de maneira significativa o fósforo absorvido quando a fonte foi a fosforita, enquanto na fonte mais solúvel, o cultivo do guandu, tanto com ou sem inoculação favoreceu os maiores acúmulos de fósforo nas plantas de arroz.

Tabela 4. Teor e quantidade acumulada de P na parte aérea das plantas de arroz cultivadas após a incubação das plantas de guandu produzidas com inoculação micorrízica e fontes de fósforo. Ensaio em vasos e em casa-de-vegetação

	Tratamentos			
Fontes de P	CGSM	CGCM	SGSM	SGCM
	---------- Teor de P, g kg^{-1} ----------			
Fosforita	1,82 a A	1,55 a B	1,58 a A	1,48 a A
Supertriplo	1,98 ab A	2,13 a A	1,52 c A	1,56 bc A
Sem P	1,10 a B	1,33 a B	1,47 a A	1,38 a A
CV, (%)		16,1		
	---------- P acumulado, mg vaso^{-1} ----------			
Fosforita	70,5 a A	61,8 a B	50,9 a A	51,2 a A
Supertriplo	85,7 ab A	98,9 a A	50,6 c A	67,9 bc A
Sem P	45,1 b B	56,4 ab B	67,7 a A	54,4 ab A
CV, (%)		21,3		

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. Onde: CGSM: com guandu sem inoculação micorrízica, CGCM: com guandu com inoculação micorrízica, SGSM: sem guandu sem inoculação micorrízica, SGCM: sem guandu com inoculação micorrízica.

Os índices de eficiência agronômica da fosforita em relação ao superfosfato triplo calculados com os dados de acúmulo de P nas plantas de arroz (Tabela 4) indicaram valores de 63 e 13%, respectivamente nos tratamentos sem e com inoculação do fungo micorrízico e ambos com o cultivo do guandu. Sem o cultivo do guandu, os índices tiveram valores negativos indicando a importância daquela leguminosa no

acúmulo de P nas plantas de arroz. FERREIRA & KAMINSKI (1979), BRAGA et al. (1980), TANAKA et al. (1981) e GOEDERT & LOBATO (1984), trabalhando com outras fontes de fosfatos naturais, obtiveram índices com amplitude semelhante ao presente trabalho. Sem o cultivo do guandu os índices foram negativos, demonstrando o benefício que aquela cultura anterior causa na sucessora. Em cinco anos de pesquisa de efeito direto e residual com sucessão de culturas anuais e pastagens, GOEDERT & LOBATO (1984) observaram que os fosfatos naturais de Patos, Araxá, Abaeté e Catalão alcançaram índices de equivalência ao superfosfato triplo no máximo de 44%, comprovando a baixa eficiência agronômica daqueles materiais. Experimentos de longa duração e ainda envolvendo pastagem com sistema radicular fasciculado, abrangendo o volume total do solo até profundidade de 60 cm, podem apresentar índices melhores que nas culturas anuais (GOEDERT & LOBATO, 1984).

Na média dos tratamentos da fosforita com o cultivo do guandu, as plantas de arroz recuperaram 15,45 dos 416 mg de P aplicados que correspondem a somente 3,7%, enquanto para o superfosfato foi de 10,0%, valores dentro da amplitude indicada por RAIJ (1996). Avaliando os fosfatos naturais de Araxá, Patos de Minas e Tapira, em cinco anos de cultivo da soja, TANAKA et al. (1984) observaram produtividades economicamente inviáveis e ausência de maior resposta com os cultivos, contrariando alguns trabalhos. Essas taxas podem ser melhoradas com os cultivos subseqüentes, pois o P apresenta grande efeito residual e, no caso presente, há possibilidade da mineralização total do guandu, conforme comentada, sobre o teor de P no solo após o cultivo do arroz.

Na tabela 5 estão apresentados os valores da produção de matéria seca das plantas de arroz. Com o cultivo do guandu, independentemente da inoculação, não houve diferenças entre as fontes de fósforo testadas, inclusive da testemunha sem o nutriente. Isto indicaria que o guandu pela sua capacidade de solubilizar o fósforo de quaisquer formas químicas teria igualado o efeito sobre a produção de matéria seca das plantas de arroz, o que não foi observado sem o cultivo da leguminosa. O arroz não respondeu à inoculação quando a fonte de fósforo foi a fosforita. Por outro lado houve resposta positiva quando a fonte foi o superfosfato triplo e somente associado ao cultivo do guandu. A aplicação de P em plantas micorrizadas de guandu indicou maior utilização de P e conseqüentemente também da produção de biomassa .

Tabela 5. Massa de matéria seca das plantas de arroz produzida após incubação das plantas de guandu produzidas com ou sem inoculação micorrízica e com fontes de fósforo. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação

	Tratamentos			
Fontes de P	CGSM	CGCM	SGSM	SGCM
	---------- Matéria seca, g vaso^{-1} ----------			
Fosforita	38,8 aA	40,0 aA	32,7 aB	34,5 aB
Super triplo	45,0 aA	44,2 aA	35,5 bB	42,7 abA
Sem fósforo	39,0 bA	43,2 abA	47,5 aA	40,2 abAB
C.V.,%	13,4			

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação. Onde: CGSM: com guandu sem inoculação micorrízica, CGCM: com guandu com inoculação micorrízica, SGSM: sem guandu sem inoculação micorrízica, SGCM: sem guandu com inoculação micorrízica.

A simples aplicação de fósforo, independentemente do cultivo do guandu e da inoculação, elevou a taxa de colonização micorrízica das raízes do arroz, diferenciando-se significativamente da testemunha (Figura 5). Tratamentos com guandu e inoculação aumentou em 25% a porcentagem de colonização radicular, independentemente da fonte de fósforo utilizada. Provavelmente o fator fósforo elevou a colonização micorrízica pela alta disponibilidade de P no solo. Porém, de acordo com SAGGIN JUNIOR & SIQUEIRA (1995), essa colonização pode ter causado um efeito parasítico prejudicando as plantas de arroz cultivadas nestes tratamentos. Já para a testemunha sem fósforo, sem guandu e sem inoculação, a produção de matéria seca foi maior (Tabela 5), pois essas plantas somente foram colonizadas pelos FMAs nativos do solo.

O efeito do cultivo do guandu na rizosfera e a massa de planta incorporada promoveram as maiores porcentagens de colonização das raízes do arroz pelo fungo micorrízico, indicando a importância desta leguminosa em elevar a comunidade de FMAs, mesmo na cultura subseqüente.

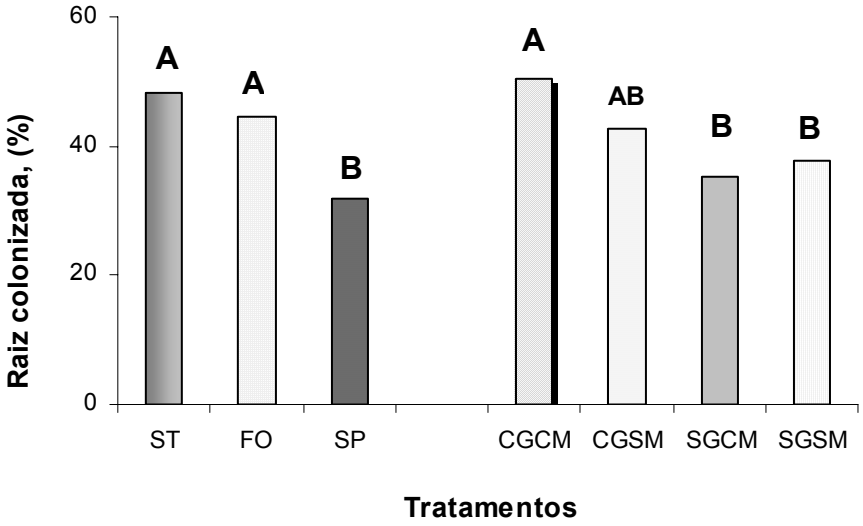

Figura 5 – Colonização micorrízica das raízes de arroz após incubação das plantas de guandu adubadas com supertriplo (ST), fosforita (FO) e sem fósforo (SP), com guandu (CG), sem guandu (SG) e com inoculação (CM), sem inoculação (SM) de fungo micorrízico. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação.

4.4 Parâmetros Microbiológicos

4.4.1 Carbono (C) da biomassa microbiana

A tabela 6 mostra o efeito dos tratamentos sobre o carbono da biomassa microbiana (CBM) antes e após o período de incubação dos restos de plantas de guandu, assim como após a cultura da sucessão. Houve efeito significativo das fontes de fósforo, do guandu e inoculação e da interação entre ambos os fatores (Figura 6). Apenas para a avaliação realizada após a colheita do arroz não houve interação entre fontes e guandu e inoculação. A biomassa microbiana foi altamente dependente do cultivo do guandu, ou seja, a leguminosa proporcionou valores maiores, independentemente da época, ou seja, antes ou após o tempo de incubação dos restos da cultura no solo. A biomassa microbiana é a fração viva da matéria orgânica do solo composta por bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários e algas. Ela é um importante componente na avaliação da qualidade do solo por que atua nos processos de decomposição natural interagindo na dinâmica dos nutrientes e regeneração da estabilidade dos agregados (FRANZLUEBBERS et al., 1999). É analisada por meio do C da biomassa e pode refletir como estava a rizosfera, e como essa pode ter influenciado o aproveitamento do fósforo oriundo do fosfato aplicado e do nativo, uma vez que, esse nutriente contido na biomassa estaria protegido por períodos prolongados da ação de fixação em minerais do solo (PAUL & CLARK, 1996).

Tabela 6. Carbono da biomassa microbiana no solo avaliado após o cultivo do guandu produzido com inoculação micorrízica e fonte de fósforo, antes e após incubação. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação

	Tratamentos			
Fontes de P	CGSM	CGCM	SGSM	SGCM
	--------- **Antes da incorporação do guandu, µg C g^{-1} de solo** -------			
Fosforita	222 aB	244 aA	125 bA	147 bA
Supertriplo	292 aA	234 bA	128 cA	57 dB
Sem P	60 bC	172 aB	171 aA	141 aA
CV, (%)	25,0			
	-------- **Após incubação do guandu, µg C g^{-1} de solo** ----------			
Fosforita	533 aB	517 aB	205 bB	141 bA
Supertriplo	663 aA	630 aA	278 bA	145 cA
Sem P	377 aC	355 aC	88 bC	125 bA
CV, (%)	9,2			

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúscula nas linhas apresentam diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Onde: CGSM: com guandu sem inoculação micorrízica, CGCM: com guandu com inoculação micorrízica, SGSM: sem guandu sem inoculação micorrízica, SGCM: sem guandu com inoculação micorrízica.

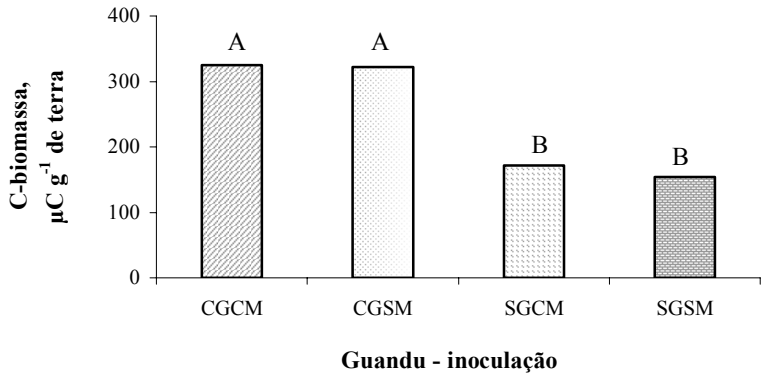

Figura 6 – Carbono da biomassa microbiana da rizosfera do arroz em função das plantas de guandu produzidas com fontes de P e inoculação micorrízica e incubadas. Médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Para elevar a atividade microbiana e agregar as partículas do solo, resultando na melhoria da estrutura do solo, MIYASAKA & OKAMOTO (1983) recomendam o uso de adubo verde, cujos benefícios são o estímulo da microbiota em profundidade, a aração biológica e maior produtividade agrícola.

A biomassa microbiana foi extremamente dependente do fósforo aplicado, principalmente no cultivo do guandu, tanto antes como depois da incubação das plantas. Sem a adição de fosfato, o CBM foi significativamente inferior nos tratamentos com guandu, independentemente da inoculação (Tabela 6). Quase de maneira consistente e nas duas épocas de coleta das amostras, o par guandu - superfosfato triplo superou guandu – fosforita na avaliação da biomassa, indicando uma possível influência da solubilidade dos fosfatos utilizados. A mesma tendência não pôde ser observada sem o cultivo do guandu.

A avaliação feita antes da incorporação representa somente o efeito da rizosfera do guandu e o P inicial, enquanto aquela realizada após a incubação representa o efeito da incubação da planta inteira (Tabela 6), ou seja, mineralização das plantas de guandu empregadas como adubo verde. Os teores de P no solo, assim como os teores e acúmulos de P da parte aérea do guandu (Figuras 1, 3 e 4), proporcionaram condição adequada para o incremento da biomassa. Com a quantidade maior de massa incorporada de guandu, verifica-se que os valores CBM atingem ao redor do dobro, o que não é observado nos tratamentos sem o cultivo do guandu. Esses dados confirmam as informações de MIYASAKA & OKAMOTO (1983) que relataram a importância e contribuição dos cultivos de adubos verdes para estimular a biomassa microbiana do solo. CATTELAN & VIDOR (1990) observaram correlações significativas da biomassa com os teores de P e K do solo. Segundo os autores, a calagem e a adubação mineral ou orgânica favorecem o desenvolvimento microbiano de forma direta, pelo aumento do pH e pela disponibilidade de nutrientes às células. A maior produção vegetal acarreta um aumento da atividade rizosférica e os resíduos orgânicos adicionados ao solo influenciam de forma indireta o crescimento microbiano. Sem o cultivo do guandu, a inoculação do fungo micorrízico não alterou a biomassa em função das épocas de amostragens do solo. Por outro lado, somente com os fungos nativos, a incubação dos dois fosfatos promoveu acréscimos neste parâmetro.

Dentro do tratamento fosforita a utilização de guandu que recebeu inóculo de *G. etunicatum* ou apenas com os FMAs nativos apresentaram maiores valores de CBM a dos tratamentos sem guandu (Figura 6). Na avaliação antes e depois do período de incubação do guandu, no tratamento fosforita observaram-se incrementos de 140 e 112% respectivamente sem e com inoculação.

4.4.2. Respiração basal

A respiração basal do solo antes da incorporação do guandu mostra efeitos significativos dos dois fatores bem como da interação entre ambos (Tabela 7). O cultivo do guandu independentemente da inoculação resultou em maiores valores de respiração do que a ausência da leguminosa. Nos tratamentos com guandu e nas duas primeiras avaliações, a simples aplicação de fósforo proporcionou valores semelhantes entre as duas fontes do nutriente e ambos diferiram significativamente da testemunha absoluta. Sem o cultivo do guandu, tanto as fontes de fósforo quanto a inoculação não alteraram os valores da respiração, exceto na avaliação feita no tratamento sem guandu e sem inoculação. Observa-se que nas duas primeiras avaliações a maior biomassa apresentada na Tabela 6 reflete o mesmo efeito do guandu e da adubação com P sob a atividade dessa biomassa.

Alguns trabalhos relatam a importância da adubação com fósforo na biomassa microbiana e sua atividade. Exceto na primeira e na última avaliação, os tratamentos sem guandu, independente da inoculação, não apresentaram incremento na atividade microbiana com a aplicação do fósforo. Os demais tratamentos estão de acordo com o relatado por SMITH et al. (2005) que mostraram que adições de fósforo resultam no aumento da respiração microbiana em solos com baixos teores de P.

Originalmente o solo apresentava respiração basal de 55,2 μg CO_2 g dia^{-1}. A avaliação feita após a colheita do guandu e das plantas de arroz (Tabela 7), ou seja, o efeito rizosférico das plantas, basicamente não alterou a respiração do solo, ocorrendo um aumento pouco acentuado na atividade microbiana.

A liberação dos nutrientes a partir dos resíduos vegetais depende da atividade microbiana no solo e da qualidade desse resíduo vegetal. Materiais com alta relação C/N sofrem decomposição mais lenta (SILVA & RESCK, 1997), e essa baixa disponibilidade de N pode prejudicar o desenvolvimento da cultura posterior pela competição entre biomassa microbiana e raízes das plantas.

A respiração basal depende de vários fatores. Assim, a presença de substâncias inibidoras de crescimento microbiano, a composição química do substrato (EGAWA et al., 1977; DELLA BRUNA, 1985) e fatores nutricionais do solo (DELLA BRUNA, 1985) têm sido considerados responsáveis pela redução na atividade microbiana. Entretanto, segundo GARCIA et al. (2004) o baixo teor de matéria orgânica no solo é a principal causa da pouca atividade microbiana principalmente em solos de regiões semi-

árida. MIELNICZUK (1999) cita que a matéria orgânica atua como fonte de carbono, energia e nutrientes para os microrganismos quimioheterotróficos e para os quimioautotróficos, sendo fonte de N e S orgânicos. Segundo FERNANDES (2006), o guandu possui relação C/N em torno de 20, tornando-se promissora opção para o fornecimento de matéria orgânica, como demonstrada na figura 2, e para o incremento na atividade microbiana no solo da cultura sucessora.

Tabela 7. Respiração basal no solo, avaliada após o cultivo do guandu produzido com inoculação micorrízica e fonte de fósforo, antes e após incubação. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação

	Tratamentos			
Fontes de P	CGSM	CGCM	SGSM	SGCM
	---- Antes da incorporação do guandu, µg CO_2 g^{-1} de solo dia^{-1} ----			
Fosforita	79 aA	85 aA	15 bA	17 bA
Supertriplo	91 aA	85 aA	18 bA	13 bA
Sem P	46 bB	66 aB	19 cA	23 cA
CV, (%)	25,1			
	------- Após incubação do guandu, µg CO_2 g^{-1} de solo dia^{-1} -------			
Fosforita	572 a AB	672 a A	229 b B	345 b A
Supertriplo	620 a A	606 a A	349 b A	374 b A
Sem P	491 a B	473 ab B	309 c AB	355 bc A
CV, (%)	12,5			
	--- Após a colheita das plantas de arroz, µg CO_2 g^{-1} de solo dia^{-1} ---			
Fosforita	756 a AB	723 aB	293 bA	261 bA
Supertriplo	837 aA	917 aA	314 bA	286 bA
Sem P	679 aB	699 aB	246 bA	241 bA
CV, (%)	11,3			

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúscula nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Onde: CGSM: com guandu sem inoculação micorrízica, CGCM: com guandu com inoculação micorrízica, SGSM: sem guandu sem inoculação micorrízica, SGCM: sem guandu com inoculação micorrízica.

Na fase de incorporação do guandu, observou-se que nos tratamentos sem guandu também houve um aumento na respiração basal do solo em relação às duas outras épocas de amostragem, ou seja, após o plantio do guandu e do arroz (Tabela 7). Nesse caso, esse aumento, apesar de ter sido cerca de 50% menor do que na presença de plantas de guandu incorporadas ao solo, pode estar relacionado ao estabelecimento de

condições menos favoráveis à microbiota do solo, já que não houve um proporcional aumento na biomassa microbiana (Tabela 6) o que gerou, inclusive, um maior qCO_2 (Tabela 8).

4.4.3 Quociente metabólico (qCO_2)

O quociente metabólico é a relação entre a atividade respiratória e a biomassa microbiana do solo. Antes da incorporação e incubação do guandu cultivado sem inoculação, houve efeito significativo das fontes de fósforo, em que a testemunha sem fósforo apresentou o maior quociente metabólico sendo significativamente distinto das demais fontes (Tabela 8). Segundo MENGEL & KIRKBY (1982), teores mais baixos de P no solo podem causar maior perda de CO_2. De uma maneira geral, na primeira avaliação do qCO_2 feita antes da incubação do guandu, os tratamentos que tiveram o seu cultivo apresentaram valores estatisticamente superiores aos sem cultivo, independentemente da inoculação (Tabela 8). Por outro lado, na avaliação feita após a incubação, os resultados tiveram tendências opostas, ou seja, sem o cultivo do guandu, o quociente metabólico aumentou, provavelmente, devido a condições menos favoráveis ao crescimento e atividade dos microrganismos, que se estabeleceram nesta fase.

Na avaliação após o cultivo do arroz, o tratamento sem guandu-inoculação apresentou qCO2 significativamente mais elevado, independentemente da fonte de fósforo, porém o sem guandu sem inoculação obteve resultados significativamente superiores para esta variável com a utilização de superfosfato em relação à testemunha. De uma maneira geral, observaram-se valores maiores de qCO_2 após o cultivo do arroz, ou seja, o efeito rizosférico dessa cultura influenciou a microbiota presente de forma diferente da rizosfera do guandu, na qual a microbiota apresentou menor qCO_2. Esse resultado pode estar relacionado com a utilização das fontes de fósforo e o diferente efeito residual de P ocorrido, que influenciou o desenvolvimento da cultura do arroz.

Nos períodos de avaliação apresentados na tabela 8 é notório que o tempo de incubação e o período de cultivo das plantas de arroz, assim como o cultivo de guandu contribuiu para fatores de estresse de modo que provavelmente houve aumento na perda de CO2 da comunidade microbiana desse solo.

Tabela 8. Quociente metabólico (qCO_2) avaliado antes e após a incorporação (CG) ou não (SG) das plantas de guandu produzidas com inoculação (CM) ou não (SM) de fungo micorrízico e fontes de fósforo

	Tratamentos			
Fontes de P	CGSM	CGCM	SGSM	SGCM
	ng h^{-1} de C-CO2 μg^{-1} C g^{-1}			
	---------- Antes da incorporação do guandu ----------			
Fosforita	17,3 a B	13,4 a A	5,2 b A	5,3 b A
Supertriplo	15,0 a B	15,1 a A	6,1 b A	11,1 ab A
Sem P	32,0 a A	19,6 b A	4,7 c A	7,0 c A
CV, (%)	14,3			
	---------- Após incorporação do guandu ----------			
Fosforita	38,5 c B	57,5 ab A	43,1 bc B	83,4 a B
Supertriplo	39,0 b AB	40,2 b A	52,1 b B	107,9 a AB
Sem P	54,3 b A	56,0 b A	172,7 a A	137,3 a A
CV, (%)	4,0			
	---------- Após colheita do arroz ----------			
Fosforita	94,41 abA	113,72 aA	75,9 bcAB	64,57 cA
Supertriplo	98,08 aA	105,86 aA	87,31 abA	68,10 bA
Sem P	109,90 aA	91,81 aA	62,86 bB	48,32 bB
CV, (%)	3,3			

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas, entre fontes de P, e minúscula nas linhas, entre tratamentos, apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%.

4.4.4 Fosfatase alcalina

Os resultados da atividade de fosfatase alcalina estão na tabela 9 e figura 7, e, apresentam-se próximos aos relatados por COSTA & LOVATO (2004) que obtiveram valores de 190 a 350 μg p-nitrofenol h^{-1} g^{-1} de fosfatase no solo sob plantas de cobertura com espécies micorrizadas e não micorrizadas. Segundo TYLER (1974), citado por ANDRADE & SILVEIRA (2004), a fosfatase alcalina é uma fosfomonoesterase de importância na mineralização do P orgânico do solo e os microrganismos são totalmente responsáveis por essa atividade, já que a enzima não é sintetizada pelas plantas.

Tabela 9. Atividade das fosfatases alcalinas, avaliada em duas épocas de amostragens: após incubação das plantas de guandu e após colheita das plantas de arroz em função dos fatores, fontes de fósforo e guandu - inoculação. Ensaio em vasos em casa-de-vegetação

	Tratamentos			
Fontes de P	CGSM	CGCM	SGSM	SGCM
	------ Pós incubação do guandu, µmol de p-NPP g^{-1} h^{-1} ---------			
Fosforita	340 aB	292 aA	76 bA	110 bA
Supertriplo	491 aA	331 bA	106 cA	99 cA
Sem P	252 aC	291 aA	62 bA	109 bA
CV, (%)	13,2			
	-- Após a colheita das plantas de arroz, µmol de p-NPP g^{-1} h^{-1} --			
Fosforita	155aB	137 aB	55 bB	50 bA
Supertriplo	158 aB	158 bB	55 bB	51 bA
Sem P	240 aA	231 aA	99 bA	69 bA
CV, (%)	15,4			

p-NPP – para-nitrofenol fosfato

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas linhas e minúscula nas colunas apresentam diferenças significativas ao nível de 5% pelo teste Tukey. Onde: CGSM: com guandu sem inoculação micorrízica, CGCM: com guandu com inoculação micorrízica, SGSM: sem guandu sem inoculação micorrízica, SGCM: sem guandu com inoculação micorrízica

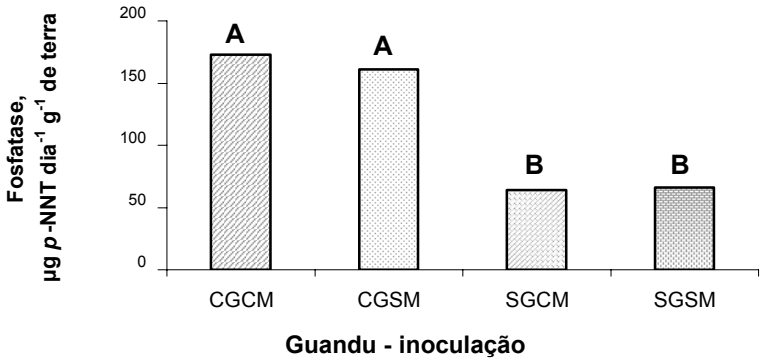

Figura 7 – Atividade das fosfatases, antes da incorporação das plantas de guandu cultivadas com fontes de fósforo, na presença de fungos micorrízicos nativos e fungos micorrízicos nativos + *Glomus etunicatum*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Nota-se que na primeira avaliação da fosfatase alcalina do solo, imediatamente após a colheita das plantas de guandu, houve maiores atividades da enzima apenas na presença do guandu, sem as influências de fontes de fósforo e nem da inoculação (Figura 7). A interação significativa foi observada na amostra feita após a incubação

das plantas de guandu. O contraste entre médias, dentro do guandu sem inoculação mostrou relação direta com a solubilidade das fontes testadas, ou seja, a fonte mais solúvel apresentou o maior valor de atividade da fosfatase, seguida pela fosforita e sem fósforo aplicado. Respostas semelhantes com outros pares de guandu – inoculação não foram observadas. COSTA & LOVATO (2004) apresentam resultados de fosfatases na dinâmica do fósforo do solo em culturas de cobertura com espécies micorrízicas e não micorrízicas. Concluem que as culturas de cobertura têm efeito regulador na atividade enzimática ligada à mineralização de fosfatos orgânicos no solo, e que esse efeito depende do caráter micorrízico ou não das espécies utilizadas, cuja influência persiste durante os cultivos subseqüentes. No presente trabalho, mesmo a inoculação não exercendo influência, deve ser considerado que os tratamentos não inoculados apresentaram efeito dos FMAs nativos do solo, que possivelmente tinham maior adaptação às condições do meio, sobressaindo-se.

NAHAS et al. (1994) correlacionaram dados de comunidade de microrganismos solubilizadores de fosfato e sete parâmetros químicos de treze solos da região de Jaboticabal, coletados da camada de 0-15cm, e observaram que a comunidade apresentou correlação significativa com fosfatase ácida e fosfatase alcalina.

Após o período de incubação do guandu havia maior quantidade de matéria orgânica nos tratamentos com esta planta. A figura 2 montra esse resultado: a biomassa microbiana e sua atividade indicada pela respiração basal (Tabelas 6 e 7) também foram superiores nos tratamentos com guandu. A fosfatase, por ter sua atividade estimulada pela presença de fósforo contido em ácidos nucléicos, fosfolipídios entre outros, apresentou maior atividade em função da mineralização desses compostos. Por conseguinte, a testemunha mostrou estatisticamente menor atividade de fosfatase, mesmo tendo quantidade semelhante de matéria orgânica, mas com menor disponibilidade de fósforo. Durante a decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos, parte do fósforo vai sendo assimilada para a formação e o desenvolvimento de suas células, imobilizando-a e incorporando-a em moléculas de ácidos nucléicos e fosfolipídeos, entre outras (TSAI & ROSSETTO, 1992; NAHAS et al., 1991). Uma vez o fósforo contido nas moléculas de ácidos nucléicos e fosfolipídios, entram em atuação as nucleases e fosfolipases, enzimas essas pertencentes ao grupo das fosfatases. Havendo maior a atuação dessas enzimas, maior a possibilidade de haver P disponível para as micorrizas. BARROTI & NAHAS (2000) citam que a produção de algumas culturas depende da aplicação de fósforo solúvel e insolúvel, porque o processo

de mineralização do P não satisfaz as necessidades das plantas e que a maioria dos trabalhos com fosfato de rocha estabelece influência dos fatores abióticos na disponibilidade do P pelas plantas. Os mesmos autores ainda demonstram que fatores bióticos também têm uma influência decisiva na disponibilidade de P, principalmente devido à produção de fosfatases, e que poucos são os trabalhos que procuram caracterizar o efeito das plantas e das fontes de fósforo na atividade fosfatases. Na avaliação efetuada após a colheita das plantas de arroz a aplicação de fósforo, independentemente da fonte, reduziu os valores de fosfatase alcalina em relação à avaliação após a incubação. Ambas as fontes tiveram valores estatisticamente semelhantes, mas inferiores à testemunha absoluta. Possivelmente parte da matéria orgânica já havia sido aproveitada pelos microrganismos e os nutrientes assimilados pelas plantas de arroz, enquanto na testemunha sem fósforo, a atividade pode ter permanecido estável por não ter tido o estímulo da adição de fósforo.

Mesmo após os períodos de cultivo e de incubação das plantas de guandu e do cultivo de arroz, ainda se observou o efeito residual extenso daquela leguminosa produzida no começo do ensaio, evidenciando sua importância no manejo do fósforo. Aparentemente, na rizosfera de leguminosas pode-se verificar o aparecimento de maior número de solubilizadores (SYLVESTER-BRADLEY et al., 1982) que nas não-leguminosas (PAUL & RAO, 1999).

4.4.5 Atividade da desidrogenase

Os resultados da atividade da desidrogenase estão apresentados na tabela 10. Na avaliação feita antes da incorporação do guandu e independentemente dos tratamentos de guandu – inoculação, a fosforita proporcionou estatisticamente os maiores valores de desidrogenase, enquanto na maioria das vezes os dados do superfosfato triplo foram semelhantes aos da testemunha absoluta. O cultivo do guandu foi importante na elevação da atividade da desidrogenase, o que não foi influenciado pela aplicação de fósforo e inoculação do fungo micorrízico.

Após a incorporação do guandu, a atividade da desidrogenase foi estimulada no solo dos tratamentos com guandu e no solo que recebeu fosfato solúvel ou sem adubação de P (Tabela 10), que superaram significativamente o solo com fosforita. Segundo FRASER et al. (1991), a desidrogenase seria decorrente da atividade microbiana, sendo estimulada pela adição de matéria orgânica ao solo. GOYA et al.

(1992) também mostraram que a atividade da desidrogenase aumentou com a adição de fertilizante orgânico e inorgânico, exceto em solo que recebeu nitrato que serve como receptor de elétrons. Constatou-se que a inoculação de *G. etunicatum,* tanto na presença quanto ausência de guandu, estimulou significativamente a atividade da enzima, nos tratamentos com fosfato solúvel ou sem adição de fosfato.

Tabela 10. Atividade da desidrogenase, avaliada em duas épocas do experimento: antes e após a colheita das plantas de arroz, em função das fontes de fósforo e inoculação de fungo micorrízico. Ensaio em vasos e em casa-de-vegetação

	Tratamentos			
Fontes de P	CGSI	CGCI	SGSI	SGCI
	------- Antes da incorporação do guandu, µg TTC g^{-1} h^{-1} ------			
Fosforita	0,515 aA	0,553 aA	0,167 bA	0,167 bA
Supertriplo	0,357 aB	0,338 aB	0,083 bB	0,078 bB
Sem P	0,348 aB	0,363 aB	0,140 bA	0,125 bAB
CV, (%)		13,8		
	-------- Após incorporação do guandu, µg TTC g^{-1} h^{-1} ------			
Fosforita	0,040 aC	0,047 aB	0,030 aA	0,030 aB
Supertriplo	0,113 bA	0,133 aA	0,037 dA	0,057 cA
Sem P	0,070 bB	0,133 aA	0,040 cA	0,067 bA
CV, (%)		13,2		
	------- Após a colheita das plantas de arroz, µg TTC g^{-1} h^{-1} ------			
Fosforita	0,120 aA	0,110 aA	0,057 bA	0,053 bA
Supertriplo	0,020 abB	0,027 aB	0,010 bB	0,007 bB
Sem P	0,023 aB	0,023 aB	0,020 aB	0,017 aB
CV, (%)		16,4		

*TTC – cloreto de trifenil tetrazólio
Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúscula nas linhas, diferem pelo teste de Tukey a 5%. Onde: CGSM: com guandu sem inoculação micorrízica, CGCM: com guandu com inoculação micorrízica, SGSM: sem guandu sem inoculação micorrízica, SGCM: sem guandu com inoculação micorrízica.

Na última avaliação, após a colheita do arroz, constatou-se que a testemunha absoluta (sem P) não apresentou diferenças significativas em função dos níveis do fator guandu – inoculação, ou seja, o cultivo prévio do guandu não estimulou a atividade da desidrogenase na rizosfera do arroz. Maiores valores de atividade da enzima somente

foram observados nos tratamentos que receberam fosforita e fosfato solúvel, sendo que a fosforita superou significativamente o supertriplo (Tabela 10).

4.4.6 Número de esporos de FMAs

A amostra coletada após a seleção da gleba fornecedora do solo utilizado no ensaio continha 80 esporos de FMAs em 100mL de solo. A interação significativa observada entre os fatores em estudo, no número de esporo, avaliada antes da incorporação do guandu e após a colheita das plantas de arroz está apresentada na tabela 11. O cultivo do guandu aumentou o número de esporos em relação ao início do ensaio, principalmente na fosforita e no tratamento sem P, diminuindo com a aplicação de superfosfato triplo. Isto sugere que a acidez formada ao redor da partícula desse fosfato solúvel possa ter inibido a esporulação ou o desenvolvimento dos esporos. Nos tratamentos sem guandu observou-se uma diminuição no número de esporos dos FMAs nativos e nativos acrescido da inoculação anterior de *G. etunicatum*. MIRANDA et al. (2005) demonstraram que a densidade de esporos dos FMAs nos solos de cerrado nativo foi em geral baixa e aumentou em função do cultivo das plantas. ABBOTT & ROBSON (1994) mostraram que a rotação de culturas e as práticas de fertilização são determinantes para assegurar essa abundância. No presente trabalho o guandu demonstrou sua alta capacidade como leguminosa de proporcionar estas características desejáveis, assim como na eficiência da absorção de fonte menos solúvel, a fosforita.

Após a colheita das plantas de arroz, houve redução bastante pronunciada no número de esporos, o que mostra que a esporulação dos FMAs no guandu foi maior que no arroz. Nos tratamentos com incorporação prévia do guandu, a redução da esporulação no arroz foi maior que nos tratamentos sem incorporação de guandu. Provavelmente, este fato ocorreu devido à cultura do arroz não ter completado o seu ciclo, já que a esporulação de FMA ocorre mais no final do ciclo da planta. BEVER et al. (1996) citam que a planta hospedeira pode ser um dos principais fatores que regulam a composição e a estrutura das comunidades dos FMAs, pois cada fase do seu desenvolvimento, como germinação dos esporos, crescimento das hifas, colonização radicular e esporulação são influenciadas pelas raízes das plantas.

É possível que a adequada colonização radicular do guandu (Tabela 3), independentemente da inoculação, tenha favorecido a densidade de esporos observada. MIRANDA et al. (2005) observaram em sistemas micorrizados de produção e rotação

de culturas, a ocorrência de altas porcentagens de colonização nas raízes das plantas em solo natural, em relação a sua ausência em solo esterilizado a vapor, e concluem que os FMAs são determinantes para o crescimento das culturas anuais e pastagens, e que o número de esporos desses fungos nativos varia em função da cultura utilizada, estações seca e chuvosa e tempo de cultivo.

Tabela 11. Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo, avaliado em duas épocas do experimento: antes da incorporação das plantas de guandu e após a colheita das plantas de arroz em função dos fatores - fontes de fósforo e guandu - inoculação. Ensaio em vasos e em casa-de-vegetação

	Tratamentos			
Fontes de P	CGSM	CGCM	SGSM	SGCM
	--- Antes da incorporação do guandu, nº de esporos 100 mL de solo^{-1} ----			
Fosforita	139,0 aB	119,4 aA	54,0 bA	10,3 cA
Supertriplo	79,2 aC	76,5 aB	39,7 bA	10,5 cA
Sem P	323,3 aA	139,8 bA	14,7 cB	15,6 cA
CV, (%)	1,8			
	---- Após cultivo de arroz, nº de esporos 100 mL de solo^{-1} ----			
Fosforita	23,5 aA	13,9 aAB	13,2 aA	16,0 aB
Supertriplo	24,8 bA	21,0 bA	4,9 cB	46,7 aA
Sem P	27,3 aA	9,6 bB	8,2 bAB	8,7 bB
CV, (%)	17,4			

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúscula nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Onde: CGSM: com guandu sem inoculação micorrízica, CGCM: com guandu com inoculação micorrízica, SGSM: sem guandu sem inoculação micorrízica, SGCM: sem guandu com inoculação micorrízica.

BARROTI & NAHAS (2000) avaliaram o efeito de três espécies de plantas, de três fontes de fósforo e de duas doses de calagem sobre a comunidade microbiana solubilizadora de fosfato. Entre outros resultados, concluíram que as bactérias assim como os fungos solubilizadores foram favorecidos com a combinação guandu e fosfato natural. Portanto, uma vez que a comunidade de microrganismos solubilizadores seja favorecida, o potencial da comunidade de fungos micorrízicos também pode ser beneficiado, pela provável maior disponibilidade de fósforo no solo, assim como, pelo cultivo e incorporação posterior do adubo verde.

De modo geral, com o presente trabalho foi possível confirmar a validade da utilização do guandu como alternativa no melhor aproveitamento de fontes insolúveis

de fósforo, por culturas em sucessão. Seu cultivo proporcionou à fosforita maior índice de eficiência agronômica. É interessante ressaltar que para atingir esse resultado, a inoculação de *G. etunicatum* não teve contribuição significativa, principalmente na cultura de sucessão, e, provavelmente, os FMAs nativos do solo foram eficientes em aproveitar o P disponibilizado. Com os possíveis benefícios do cultivo do guandu como adubo verde acrescido dos resultados encontrados para a utilização da fosforita é possível inferir que sua utilização torne-se opção viável para a comunidade agrícola que faz uso de agricultura orgânica, assim como para pequenos produtores.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

a) O teor de fósforo disponível no solo indica que os 173 dias de incubação das plantas de guandu não são suficientes para a sua mineralização total.
b) Apesar da maior exportação de fósforo contido nas plantas de arroz, o superfosfato triplo ainda deixa maior teor residual de P disponível que a fosforita.
c) O crescimento das plantas de guandu é diretamente influenciado pela inoculação do fungo micorrízico *Glomus etunicatum* e pela solubilidade das fontes testadas de fósforo.
d) Melhores resultados de produção de matéria seca, maior eficiência das fontes de fósforo no acúmulo de P pelo arroz e estabelecimento da associação micorrízica são obtidos com o cultivo prévio do guandu.
e) A atividade e a biomassa microbianas são estimuladas pelo cultivo prévio do guandu e dependem da fonte de P aplicada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D. The impact of agricultural practices on mycorrhizal fungi. In: Pankhurst C.E.; Doube B.M.; Gupta V.S.R.; Grace, P.R. (Ed.). Soil biota: management in sustainable farming systems. CSIRO, Victoria, p.88-95, 1994.

AE, N.; ARIHARA, K.; OKADA, K.; YOSIHARA, T.; JOHANSEN, C. Phosphorus uptake by pigeonpea and its role in cropping systems of Indian subcontinent. **Science**, v.248, p.477-480, 1990.

ALEF, K. Soil respiration. In: Alef K.; Nannipieri P. (Ed). Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press, London. p.214-219, 1995.

ALVES, S.M.C.; ABBOUD, A.C.S.; RIBEIRO, R.L.D.; ALMEIDA, D.L. Balanço do nitrogênio e fósforo em solo com cultivo orgânico de hortaliças após a incorporação de biomassa de guandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.39, n.11, p.1111-1117, 2004.

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. **British Society of Soil Science**, London. p.67-761994.

ANDRADE, S.A.L de.; SILVEIRA, A.P.D. Biomassa e atividade microbiana do solo sob influência de chumbo e da rizosfera da soja micorrizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.39, n.12, p.1191-1198, 2004.

APPIAH, M.R.; THOMAS, R.L. Inositol phosphate and organic phosphorus contents and phosphatase activity of some Canadian and Ghanaian soils. **Canadian Journal of Soil Science,**. v.62, p.31-38, 1982.

BARROTI, G.; NAHAS, E. População microbiana total e solubilizadora de fosfato em solo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.10, p.2043-2050, 2000.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Instituto Agronômico, Campinas, 1984, 48p. (Bol. Téc., 78).

BEDIN, A.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A.M.; SANTOS, J.Z.L. Fertilizantes fosfatados e produção da soja com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.27, p.639-646, 2003.

BEVER, J.K.; MORTON, J.B.; ANTONOVICS, J.; SCHULTZ, P.A. Host-dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a mown granland. **Journal of Ecology**, v.84, p.71-82, 1996.

BRAGA, N.R.; MASCARENHAS, H.A.A.; FEITOSA, C.T.; HIROCE, R.; RAIJ, B. Efeitos de fosfatos sobre o crescimento e produção de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, p.36-39, 1980.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa n. 007, de 17 de maio de 1999. **Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil**, p.5-9, 1999.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa n. 17, de 10 de maio de 2001. **Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil**, p.9-11, 2001.

CARVALHO, A.M.; AMABILE, R.F. Plantas condicionadoras de solo: interações edafoclimáticas, uso e manejo. In: Carvalho A.M.; Amabile R.F. (Org.). Cerrado: adubação verde. 1 ed. Brasília: Embrapa, v.1, p.143-170, 2006,.

CASIDA, L.E.; KLEIN, D.A.; SANTORO, T. Soil dehidrogenase activity. **Soil Science**, v.98, p.371-376, 1964.

CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.133-142, 1990.

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

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.

COUTINHO, E.L.M; NATALE, W; NOVA, A.S.V.; SITTA, D.S.X. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados para a cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.9. p.1393-1399, 1991.

DE LUCA, T.H. Relationship of 0,5M K_2SO_4 extractable anthrone-reactive carbon to indices of microbial activity in forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.30, p.1293-1299, 1998.

DELLA BRUNA, E. A serrapilheira de eucalipto: efeitos de componentes antibacterianos e de nutrientes na decomposição. 1985. 54p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa.

EGAWA, H.; TSUTSUI, O.; TATSUYAMA, K; HATTA, T. Antifungal substances found in leaves of Eucalyptus sp. **Experientia**, Viçosa, v.33, p.889-910, 1977.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M.A. Phosphatases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.9, p.167-172, 1977.

ESPINDOLA, J.A.A.; ALMEIDA, D.L.; GUERRA, J.G.M.; SILVA, E.M.R.; SOUZA, F.A. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33 n.3, p. 339-347, 1998.

FEDER, J. The phosphatases. In: Grifith, E.J.; Becten, A.; Spencer, J.M.; Mitchel, D.T. Environmental phosphorus handbook. New York: John Wiley, p.475-507, 1973.

FERNANDES, B. Cobertura vegetal do solo. In: Técnicas de adubação. (informe técnico) nº170, XXIV – Jan/Fev, 2006.

FERREIRA, T.N.; KAMINSKI, J. Eficiência dos fosfatos naturais de Patos-de-minas e gafsa puros e modificados por acidulação e calcinação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, p.158-162, 1979.

FRANZLUEBBERS, A.J.; HANEY, R.L.; HONS, F.M. Relationships of chloroform fumigation-incubation to soil organic matter pools. **Soil Biology and Biochemistry**, v.31, p.395-405, 1999.

FRASER, D.G.; DORAN, J.N.; SAHS, W.W.; LESOING, W. Soil microbial populations and activities under conventional and organic management. **Journal of Environmental Quality**, v.17, p.151-163, 1991.

GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: Santos G.A.; Camargo, F.A.O. (Ed). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênesis, p.227-243, 1999.

GARCIA, M.R.L.; MELLO, L.M.M.; CASSIOLATO, A.N.R. Variáveis microbiológicas e produtividades do feijoeiro sob diferentes manejos do solo e calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.10, p.1021-1026, 2004.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet-sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v.46, p.235-244, 1963.

GIOVANETTI, M.E.; MOSSE B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v.84, p.489-500, 1980.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica dos fosfatos em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, n.1, p.97-102, 1984.

GOEDERT, W.J. Management of the Cerrado soils of Brazil: a review. **Journal of Soil Science,**. v.34, p.405-428, 1983.

GOENAD, D.H.; SISWANTO.; SUGIARTO, Y. Bioactivation of poorly soluble phosphate rocks with a phosphorus-solubilizing fungus. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, p.27-932, 2000.

GOYA, S.; MISHRA, M.M.; HOODA, I.S.; SINGH, R. Organic matter-microbial biomass relationships in field experiments under tropical conditions: effects of inorganic fertilization and organic amendments. **Soil biology and Biochemistry**, v.24, p.1081-1084, 1992.

HAN, S.W.; NAHAS, EL; ROSSI, A. Regulation of synthesis and secretion of acid and alkaline phosphatase in *Neuropara crassa*. **Current genetics**, West Germany, v.11, p. 521-527, 1987.

HAYNES, R.J.; SWIFT, R.S. Effects of lime and phosphate addition on changes in enzyme activities, microbial biomass and levels of extractable nitrogen, sulphur and phosphorus in an acid soil. **Biol. Fert. Soil**. v.6, p.31-38, 1988.

ICRISAT. Annual report 1987. Patancheru. A.P. ICRISAT, 1988, 200p.

ISLAM, K.R. &WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture ecossystems and enviroment**, v.79, p.9-16, 2000.

JOHANSEN, C. **Pigeonpea: mineral nutrition**. In: Nene Y.L.; Hall S.D.; Sheila V.K. (Ed.) The pigeonpea. CAB International, Wallingford, UK, p.209-231, 1990.

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., Belo Horizonte, Ed. Itatiaia, p.333-347, 1977.

KUCEY, R.M.N.; JANZEN, H.H.; LEGGETT, M.E. Microbially mediated increases in plant-available phosphorus. In: Brady, N.C. (ed.) **Advances in Agronomy**, Washington, v.42, p.199-228, 1989.

LOPES, A.S. **Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo**. POTAFOS, Piracicaba, 1983, 162p.

MAESEN, L.J.G. van der. **Pigeonpea: origin, history, evolution, and taxonomy**. In: Nene Y.L.; Hall, S.D.; Sheila V.K. (Ed.) The pigeonpea. CAB International, Wallingford, UK, p.15-46, 1990.

MAZUR, N.; SANTOS, G.A.; VELLOSO, A.C.X. Efeito do composto de resíduo urbano na disponibilidade de fósforo em solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, p.153-156, 1983.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: Santos G.A.; Camargo F.A.O. (Ed), Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, RS: Genesis, p.1-8, 1999.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principles os plant nutrition. International Potash Institute, Bern, 1982, 655p.

MIRANDA, J.C.C.; MIRANDA, L.N**. Manejo da micorriza arbuscular por meio da rotação de culturas nos sistemas agrícolas do cerrado.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 3p. (Embrapa Cerrados. Comunicado Técnico, 42)

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. 1005-1014, 2005.

MIYASAKA, S.; OKAMOTO, H. Matéria orgânica. In: Wutke E.B.; Bulisani E.A.; Mascarenhas H.A.A. Curso sobre adubação verde no Instituto Agronômico, 1., Campinas, IAC, p.1-16, 1983. (Documentos IAC, 35).

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental.Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.39, n.11, p.1103-1110, 2004.

MOREIRA, V.F. Produção de biomassa de guandu a partir de diferentes densidades de plantio e cultivo de brócolos em faixas intercalares sob manejo orgânico. 2003. 66p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

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,** Campinas, v.18, p.49-53, 1994.

NAHAS, E.; ASSIS, L.C. Efeito da adição ao solo de fosfato solúvel obtido por via microbiológica a partir de fluorapatita. **Revista Latinoamericana de Microbiologia, México**, v.33, n.2/3, p.225-229, 1991.

NAHAS, E. Ciclo do fósforo: transformações microbianas. Jaboticabal, FUNEP, 67p. 1991.

NOVAES, N.J.; VITTI, G.C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S.N.; GIROTTO, C.R. Efeito da fosfatagem, calagem e gessagem na cultura do guandu: I. Produção de matéria seca e proteína, e teores de proteína e fibra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.23, n.9, p.1049-1054, 1998.

NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M.; MARTINS FILHO, C.A.S. Efeito do tempo de incubação do fosfato-de-araxá em solos sobre o fósforo disponível. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, n.3, p.153-155, 1980.

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

PANG, P.C.K.; KOLENKO, H. Phosphomonoesterase activity n forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.18, n.1, p. 35-40, 1986.

PARKIN, T.B.; DORAN, J.W.; FRANCO-VIZCAINO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In Doran, J.W.; Jones, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. Madison, **Soil Science Society of America**, p. 231-246, 1996. (Publicação especial, 49).

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. Soil microbiology and biochemistry. San Diego: Academic, 1996. 340p.

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**, 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 assesment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, v.55, p.158-161, 1970.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Instituto Agronômico, Campinas, 1983. 31p. (Bol. Téc., 81).

RAIJ, B. van Condições mínimas de eficiência para fosfatos alternativos ao superfosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.3, p.239, 1986.

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

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

REDECKER, D.; KODNER, R.; GRAHAM, L.E. Glomalean fungi from the ordoviciam. **Science**, v.289, p.1920-1921, 2000.

RHEINHEIMER, 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: Gêneses, p.227-244, 1999.

RICHART, A.; LANNA, M.C. Disponibilidade de fósforo e enxofre para a cultura da soja na presença de fosfato natural reativo, superfosfato triplo e enxofre elementar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.695-795, 2006.

SAGGIN-JUNIOR O.J.; SIQUEIRA, J.O.; GUIMARAES, P.T.G.; OLIVEIRA, E. Colonização micorrízica do cafeeiro por diferentes fungos micorrízicos: Efeitos na formação das mudas e no crescimento em solo fumigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Campinas, v.19, p.213-220, 1995.

SALE, P.W.G.; MOKWNYE, A.U. Use of phosphate rocks in the tropics. **Fertilizer Research**, v.35, p.33-45, 1993

SALMI, G.P.; SALMI, A.P.; ABBOUD, C.S. Dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes de genótipos de guandu sob cultivo em aléias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.4, p.673-678, 2006.

SHELDRAKE, A.R.; NARAYANAN, A. Growth, development and nutrient uptake in pigeonpeas. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.92, p.513-526, 1979.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. Matéria orgânica do solo. In: Biologia dos solos do cerrado. Embrapa-CPAC, Planaltina, p.465-516, 1997.

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

SIMON, L.; BOUSQUET, J.;LÉVESQUE, R.C.; LALOND, M. Origin an diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. **Nature**, v.363, p.67-69, 1993.

SMITH, V.R. Moisture, carbon and inorganic nutrient controls of soil respiration at a sub-antarct island. **Soil Biol. Bochem**, v.37, p.81-91, 2005.

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 pastury and secondary forest of Paraty, RJ-Brazil. Journal: Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.78, p.183-193, 2006.

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

STEWART, J.W.B.; SHARPLEY, A.N. Controls on dynamics of soil and fertilizer phosphorus an sulfur. In: Follet R.F.; Steward J.W.B.; Cole C.V. (Eds). Soil fertility and organic matter as critical components of production systems. **Soil Science Society of America**, Madison, p.101-121, 1987. (SSSA Special publications, 19).

SYLVESTER-BRADLEY, R.; ASAKAWA, N.; LATORRACA, S.; MAGALHÃES, F.M.; OLIVEIRA, L.A.; PEREIRA, R.M. Levantamento quantitativo de microganismos

solubilizadores de fosfatos na rizosfera de gramíneas e leguminosas forrageiras na amazônia. **Acta Amazônica,** Manaus, v.12, n.1, p.15-22, 1982.

TANAKA, R.T.; BAHIA, V.G.; COELHO, A.M..; FREIRE, J.C. Seleção de extratores de fósforo do solo em função das respostas das plantas de milho e da adubação com fosfato patos-de-minas em condições de casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5, n.1, p.38-42, 1981.

TANAKA, R.T.; REZENDE, A.M.; SANTOS, P.R.R.S.; BRAGA, J.M. Fosfatos naturais de Minas Gerais associados a fosfato solúvel na produtividade de soja. In: Seminário nacional de pesquisa de soja, 3. Campinas, 1984, EMBRAPA-Soja, Londrina, p.709-720, 1984.

TANAKA, R.T. Efeito do método de aplicação e do período de incubação na eficiência agronômica dos fosfatos. 1990. 122p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

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

TSAI, S.M.; ROSSETO, R. Transformações microbiana do solo. In: Cardoso E.J.B.; Tsai S.M.; Neves M.C.P. **Microbiologia do solo**, p.231-242, 1992.

TYLER, G. Heavy metal pollution and soil enzyme activity. **Plant and soil**, v.41, p.303-311, 1974.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. Na extraction method for measuring soil microbial biomass carbon. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p.703-707, 1987.

VISSER, R.; PARKINSON, D. Soil biological criteria as indicators of soil quality: soil microorganisms. Am. J. Altern. Agric., v.7, p.33-37, 1992.

VOLKEISS, S.J.; RAIJ, B. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: Ferri M.G. (Coord.). Simpósio sobre o cerrado: bases para utilização agropecuária. 4., Belo Horizonte, Ed. Itatiaia, p.317-332, 1977.

WUTKE, E.B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no estado de São Paulo. In: Wutke E.B.; Bulisani E.A.; Mascarenhas H.A.A. Curso sobre adubação verde no Instituto Agronômico, 1., Campinas, IAC, p.17-29, 1983. (Documentos IAC, 35).

ZONTA, E.P.; MACHADO,A.A; SILVEIRA JÚNIOR, P. Sistemas de análise estatística para microcomputadores (SANEST). Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 1984. 151p.