**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Plantas de cobertura e fontes fosfatadas – efeito na colonização micorrízica
e nas frações de fósforo no solo**

José Carlos Rojas García

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2015**

José Carlos Rojas García
Engenheiro Agrônomo

**Plantas de cobertura e fontes fosfatadas – efeito na colonização micorrízica e nas frações
de fósforo no solo**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PAULO SERGIO PAVINATO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas

Piracicaba
2015

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Rojas García, José Carlos

Plantas de cobertura e fontes fosfatadas – efeito na colonização micorrízica e nas frações de fósforo no solo / José Carlos Rojas García. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.

72 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Eficiência de fósforo 2. Micorrizas 3. Esporos 4. Adsorção de fósforo 5. Fracionamento de fósforo I. Título

CDD 631.41
R741p

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

À minha família,

*Gina Paola Sanchez Torres e Camila Paola Rojas Sanchez, pelo carinho,
paciência e incentivo nos momentos mais difíceis. Amo-os muito!*

Aos meus pais, Elvira e Manuel,

*pela minha educação e formação humana,
pelo amor incondicional que sempre dedicaram a mim
e pelo apoio em todos os momentos da minha vida.*

Aos meus sogros, Eloy e Estela,

pelo grande apoio brindado, nestes dois anos, Muito obrigado!

À minha irmã, Ana Luisa,

Pela torcida para que eu obtivesse êxito e por estar sempre ao meu lado.

Aos meus avós, Julio García e Lusdina Pezo, pelo amor em todos os momentos.

Aos meus Tios, Antônio e Aldo.

A meu amigo David Vasquez, pelo apoio.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus, pela benção da vida;

À minha família, Gina Paola Sanchez e Camila Paola Rojas, pelo amor e por ser a minha maior motivação para continuar em frente.

Aos meus pais, Manuel Rojas e Elvira García, que sempre me incentivaram, acreditando e investindo em mim.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Sergio Pavinato, pelo apoio, confiança, compreensão e paciência, durante a realização deste trabalho.

À estudante de doutorado Veronica Rondinel, pelo apoio na realização das análises estatísticas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, professores, em especial ao Prof. Dr. Fernando Dini Andreote, à Denise e ao Fernando, técnicos do laboratório de Microbiologia do solo, pela disposição em me ensinar, auxiliar em minha pesquisa, contribuindo para minha formação, sempre com paciência e sabedoria.

Ao Prof. Dr. Pablo Vidal Torrado pelo apoio e facilidades para fazer o mestrado.

Ao Prof. Dr. José Lavres Junior, pelo apoio com as análises de tecido vegetal.

Ao Luis Silva, técnico de Laboratório do Departamento de Ciência do solo – ESALQ/USP, pela colaboração com as análises do fracionamento de fósforo.

Agradecimento especial a Bruna Arruda e Joice que contribuíram efetivamente para a realização das minhas análises.

Aos bolsistas de iniciação científica e estagiários, Tobias, Nathanael, Virgilio, Gabriel, Aline, Gustavo, Matheus, Vinicius e Rafael, que me auxiliaram na condução do projeto.

A todos os colegas do laboratório e companheiros de pós-graduação, Ana Paula, Bruna, Wilfrand, Ana Carolina, Valdevan, Ioná, Marcos, Renata, Arnon, Hélio Henrique, Diogo, Maurício, Renes, Joice, Arthur, Silvia, pelos momentos compartilhados em grupo, que com certeza fizeram com que a vida no mestrado se tornasse mais legal.

A meus amigos Pablo Fresia, Erick, Pedro Mancilla, Thony Arce, José Luis, Juan Carlos e Juanchi, pela amizade sincera.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) e ao Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade de estudo;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa;

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a concretização de mais este projeto, o meu muito obrigado!

EPÍGRAFE

*“Ante la diferencia y la vanidad
que promueve la mediocridad,
el estudio y el trabajo,
son los medios para corregir
con agrado los cambios del mañana”.*

(Manuel Rojas Cuchani)

“El estudio, el trabajo y la cultura rompen los hierros taladran al acero”.

(Manuel Rojas Cuchani)

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 Dinâmica do P no solo.....	19
2.2 Fertilizantes fosfatados.....	21
2.3 Plantas de cobertura.....	22
2.4 Associações de plantas com fungos micorrízicos arbusculares	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 Localização e caracterização da área experimental.....	27
3.2 Delineamento experimental e tratamentos	28
3.3 Implantação e condução do experimento	28
3.4 Amostras de planta e solo	29
3.5 Análises	31
3.5.1 Densidade de esporos de FMA no solo	31
3.5.2 Porcentagem de colonização micorrízica	31
3.5.3 Fracionamento do fósforo do solo	32
3.5.4 Produção de massa seca e acúmulo de P	34
3.6 Análises estatísticas	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Colonização radicular por FMA.....	35
4.2 Número de esporos de FMA.....	38
4.3 Produção de matéria seca das plantas de cobertura.....	40
4.4 Acúmulo de P no tecido vegetal	41
4.5 Frações de P no solo	44
5 CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS	59

RESUMO

Plantas de cobertura e fontes fosfatadas – efeito na colonização micorrízica e nas frações de fósforo no solo

Em busca de melhorar a eficiência do uso de fontes de fósforo (P) e viabilizar o aumento da absorção deste nutriente, objetivou-se com este trabalho determinar as mudanças promovidas por plantas de cobertura, associadas à fontes fosfatadas de solubilidade distintas, na colonização por fungos micorrízicos arbusculares (FMA), como também avaliar as mudanças promovidas na disponibilidade de frações de P no solo e na eficiência de uso do P pelas coberturas. O delineamento adotado foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial 5x3, com quatro repetições. Foram utilizadas quatro plantas de cobertura: milheto (*Pennisetum glaucum*), braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), guandú-anão (*Cajanus cajan*) e crotalária (*Crotalaria juncea*), além do controle (pousio); Duas fontes de P: fosfato natural reativo Bayóvar e superfosfato simples, além de um tratamento controle (sem fosfato). Avaliou-se a colonização micorrízica por FMA e densidade de esporos no solo em três épocas, correspondendo à estação chuvosa e seca de 2013 e a estação chuvosa de 2014. Avaliou-se também a produção de massa seca e o acúmulo de P pelas plantas. No final do segundo ano, analisou-se o fracionamento de P do solo. A colonização radicular foi mais influenciada nas épocas chuvosas. A presença das plantas de cobertura proporcionou maior colonização micorrízica e densidade de esporos na época chuvosa. As aplicações de fontes fosfatadas não influenciam a densidade dos esporos, enquanto que as plantas de cobertura, principalmente o guandú e a braquiária, apresentaram aumento no número de esporos. Apesar de não aumentar as frações lábeis do P no solo, a utilização de plantas de cobertura proporcionou maior ciclagem do nutriente. Os fosfatos não influenciaram a massa seca nem o acúmulo de P, sendo que houve efeitos das plantas de cobertura na massa seca e no acúmulo de P na parte aérea, com destaque para o milheto e a braquiária.

Palavras-chave: Eficiência de fósforo; Micorrizas; Esporos; Adsorção de fósforo; Fracionamento de fósforo

ABSTRACT

Cover crops and phosphate sources - effect on mycorrhizal colonization and the phosphorus fractions in soil

In order to improve the use efficiency of phosphorus sources and enable a higher absorption of this nutrient, this research aimed to determine the changes promoted by cover crops and phosphorus sources of different solubility in the colonization by arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), as much as the availability of P fractions in the soil and the use efficiency of P by the cover crops. A complete randomized block design was adopted, in a 5x3 factorial scheme, with four replications. For the first factor were used four cover crops: millet (*Pennisetum glaucum*), brachiaria (*Brachiaria ruziziensis*), pigeon pea (*Cajanus cajan*) and sun hemp (*Crotalaria juncea*), including a control (fallow); for the second factor were used the reactive phosphate Bayovar and the simple superphosphate plus a control treatment (no phosphate). It was assessed the AMF colonization, the spore density in the soil in three different times, the rainy and dry seasons in 2013, and the rainy season in 2014. At the end of 2014, it was also evaluated the amount of the fractioned P in the soil. The root colonization was more influenced in rainy season. The presence of cover crops provided greater mycorrhizal colonization and spore density in the rainy season. The applications of phosphate sources did not influence the spores density. However, the cover crops, mainly pigeon pea and brachiaria, showed an increase in the number of spores. The use of cover crops did not increase the labile fractions of P in the soil, Nevertheless they provided greater cycling of this nutrient. Phosphates did not influence the dry matter or the accumulation of P. Interestingly, the dry matter and P accumulation in shoots was influenced by the kind of cover crops, being higher for millet and brachiaria.

Keywords: Phosphorus efficiency; Mycorrhizae; Spores; Phosphorus adsorption; Phosphorus fractionation

1 INTRODUÇÃO

O fósforo (P) desempenha papel importante na fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia (componente da ATP), divisão celular, dentre outros processos que ocorrem na planta (MARSCHNER et al., 2012). Além disso, promove também formação mais rápida de raízes, melhora a qualidade dos frutos, hortaliças e grãos, sendo vital à formação da semente, além de estar envolvido na transferência de características hereditárias das espécies (NOVAIS et al., 2007).

Nos solos tropicais o P é um dos nutrientes mais limitantes para produtividade das culturas, devido a sua baixa disponibilidade, que é determinada pela adsorção deste elemento ao solo (NOVAIS et al., 2007). Isso porque estes solos são bastante intemperizados, como no caso dos solos brasileiros, apresentando maior eletropositividade, o que confere alta capacidade de adsorção de íons fosfatos, uma vez que nesses solos há predomínio de argilas 1:1 e óxi-hidróxidos de ferro e de alumínio. Outro fenômeno que reduz a disponibilidade de P para as plantas nestes solos é a precipitação, que pode ocorrer com íons de Fe e de Al em condições de elevada acidez, ou com íons de Ca em solos calcários, neutros ou alcalinos (NOVAIS; SMITH, 1999).

Devido às características dos solos tropicais de alta fixação de P, a produção de alimentos tem sido altamente dependente do uso de fertilizantes fosfatados, especialmente de fontes solúveis, sendo justificada a aplicação de P em doses elevadas nestes solos intemperizados (BULL et al., 1998; NOVAIS; SMYTH, 1999). A utilização de fontes solúveis de P ocasiona disponibilidade imediata desse nutriente no solo, o que leva à sua preferencialidade de uso nas adubações agrícolas. Entretanto, estas fontes apresentam maior fixação no solo, reduzindo a sua disponibilidade para as plantas (LIMA et al., 2007).

As fontes fosfatadas a serem utilizadas para o fornecimento de P podem ser solúveis ou de baixa solubilidade. Os fosfatos solúveis possuem maior solubilidade, sendo os mais utilizados os superfosfatos simples e triplo, fosfatos monoamônico (MAP) e diamônico (DAP), (CAIONE, 2011). Já os fosfatos de baixa solubilidade, ao disponibilizarem mais lentamente o P, fazem com que ocorra redução nos processos de fixação e podem favorecer um melhor aproveitamento do nutriente pela planta, com prolongado efeito residual (XIONG et al., 2002; PROCHNOW; FRANCISCO; BRAGA, 2006; CAIONE et al., 2011).

A eficiência agronômica dos adubos fosfatados pode ser afetada pela matéria prima utilizada, fontes de fosfato, propriedades do solo, modo de aplicação e espécies vegetais (CHIEN; MENON, 1995).

Quando os fosfatos naturais são de origem sedimentar, estes apresentam alto grau de substituição isomórfica de fosfatos por carbonatos na apatita (KAMINSKI; PERUZZO, 1997), e são encontrados em áreas desérticas ou de clima seco, apresentando alta reatividade, sendo muitas vezes identificados como francolitas e fosforitas (KLIEMANN; LIMA, 2001). Esses fosfatos são oferecidos no mercado de fertilizantes como fosfatos naturais reativos e permitem sua utilização direta na agricultura, como os fosfatos naturais de Bayóvar – Perú, Carolina do Norte – EUA, Gafsa – Tunísia e Arad – Israel (HAMMOND et al., 1992).

Os fosfatos naturais podem também ser pouco reativos, quando as apatitas têm baixa ou nenhuma substituição isomórfica, como a maioria dos fosfatos naturais brasileiros, em decorrência de sua origem geológica, ígnea ou metamórfica (KAMINSKI; PERUZZO, 1997). Por essa razão, é necessária sua acidificação para solubilizar o fosfato presente nestes minerais.

Uma estratégia para aumentar a eficiência dos fertilizantes fosfatados na agricultura seria a utilização de plantas eficientes na absorção e na utilização do P proveniente do próprio solo ou dos fertilizantes, o que pode reduzir as doses aplicadas. Um fator que favorece a solubilidade dos fosfatos naturais é o dreno de P e de Ca pelas plantas. A remoção de Ca e P, proporcionada pela maior extração das plantas, gera aumento na taxa de dissolução do fosfato. Condições que favoreçam o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), como o aumento da matéria orgânica do solo também pode exercer papel preponderante na eficiência do uso dos fosfatos naturais, uma vez que atuam como dreno de Ca (NOVAIS; SMYTH, 1999).

As plantas de cobertura têm sido foco de muitos estudos devido ao seu potencial de liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, os quais possuem capacidade de interagir com a fase sólida do solo e ocupar os sítios de adsorção de nutrientes (SPOSITO, 1989). Esses compostos são fundamentais na solubilização do P, principalmente o P não-lábil, mediante a exsudação de compostos orgânicos acidificadores de rizosfera, favorecendo a solubilização dos fosfatos naturais menos reativos, insolúveis em água, que por sua vez agem na dissolução do P dos coloides, tornando-o disponível na solução do solo (CHIEN; MENON, 1995). Outra adaptação das plantas visando aumentar o aproveitamento do P do solo é a associação simbiótica com fungos micorrízicos arbusculares (FMA), pois tal simbiose aumenta a área de absorção das raízes, através das hifas e micélios, permitindo exploração mais eficaz de maior volume de solo (SCHAWAB et al., 1991; TISDALL, 1994). O aumento da área de contato entre as raízes das plantas e o P, que é pouco móvel no solo, favorece a absorção do nutriente pelas plantas. As associações da maioria das plantas com FMA são

geralmente consideradas simbioses mutualísticas. Os fungos suprem suas plantas hospedeiras com nutrientes, em contrapartida recebem carboidratos fornecidos pela planta. O benefício desta associação para o crescimento das plantas é bem documentado, e atribuído, principalmente, à melhoria na nutrição fosfatada (SMITH; READ, 2008).

A hipótese deste estudo é de que as fontes de fosfato menos solúveis desencadeiam aumento na população de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e na colonização micorrízica, com maior interação entre solo e planta, aumentando a absorção e aproveitamento de P do solo e melhorando a eficiência de uso do fertilizante.

Para tanto, objetivou-se determinar o efeito dos fungos micorrízicos arbusculares, presentes na rizosfera de plantas de cobertura, no aproveitamento do fósforo proveniente do solo e/ou de fontes fosfatadas de solubilidade variada. Os objetivos específicos foram: a) determinar as mudanças na colonização micorrízica e na população de fungos micorrízicos arbusculares, associados à rizosfera de plantas de cobertura, em função da aplicação de fontes fosfatadas; b) avaliar as mudanças promovidas na disponibilidade de frações lábeis de P no solo em função da adubação fosfatada interagindo com a associação micorrízica; e c) determinar a absorção de P pelas plantas de cobertura em função das fontes de fosfato.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Dinâmica do P no solo

No solo, o fósforo (P) pode ser encontrado nas formas inorgânica (Pi) e orgânica (Po), sendo que estas formas apresentam diferentes comportamentos e destinos no solo (HANSEN et al, 2004; TURNER et al., 2007). O Pi encontra-se na forma de $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ e HPO_4^{-2} , principalmente adsorvido na superfície dos óxidos e hidróxidos e na matéria orgânica (OLIBONE; ROSOLEM, 2010), dependendo dos minerais de argila presentes no solo e da acidez do mesmo (DUPUTEL et al., 2013) e, de maneira geral, representa entre 35 e 70% do total presente do solo (HARRISON, 1987; RODRIGUES, 2014) .

O Pi pode ser subdividido em duas frações, sendo elas o P dos minerais primários e o fósforo adsorvido. Os minerais primários, incluindo apatita, estrengita e variscita, constituem-se de uma forma muito estável e sua taxa de disponibilização de P por intemperismo é muito baixa. Os minerais secundários, incluindo os fosfatos de cálcio (Ca), ferro (Fe), e alumínio (Al) variam nas suas taxas de dissolução, dependendo do tamanho das partículas do mineral e o pH do solo (PIERZYNSKI et al., 2005; OELKERS; VALSAMI-JONES, 2008). Com o aumento do pH do solo, aumenta-se a solubilidade de fosfatos de Fe e Al, entretanto, a solubilidade do fosfato de Ca decresce, à exceção de condições de pH do solo superior a 8,0 (HINSINGER, 2001).

O fósforo adsorvido compõe um complexo grupo de fosfatos inorgânicos, formando diferentes compostos e com diferentes graus de estabilidade química. Pode ser encontrado ligado aos grupos funcionais silanol e aluminol das arestas das argilas silicatadas e nos R-OH dos oxi-hidróxidos de Fe e Al e, inclusive, adsorvido à matéria orgânica do solo através de pontes de cátions (BARROW, 1983). A adsorção do fosfato aos oxi-hidróxidos ocorre, principalmente, nas formas de baixa cristalinidade e com alto desbalanço de cargas. Esta adsorção se dá nos sítios ácidos de Lewis, onde os grupos OH e OH_2^+ ligados ao metal (Fe ou Al), como na gibbsita, goethita e hematita (PARFITT, 1989), são trocados pelo fosfato, caracterizando o fenômeno de troca de ligantes (BARROW, 1983). O fosfato pode estar adsorvido aos óxidos por ligações monodentadas, na qual um oxigênio do fosfato é ligado ao metal; bidentada, em que dois oxigênios são ligados ao metal; e binucleadas, onde dois oxigênios do fosfato são ligados a dois átomos do metal. A energia de ligação é crescente para os compostos monodentados, bidentados e binucleados e a possibilidade de dessorção do fosfato aumenta na ordem inversa (PARFITT, 1989).

O Po nos solos tropicais também é uma fonte importante de P às plantas, pois compõe de 5 a 80% do total do solo (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2003; RODRIGUES, 2014). O Po é originário dos resíduos vegetais adicionados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição (RHEINHEIMER, 2000a; CONTE et al., 2002; MARTINAZZO et al., 2007). As principais formas são os fosfatos de inositol (10 a 80% do fósforo orgânico total), ácidos nucleicos (3%), os fosfolipídios (0,5 a 7%) e ésteres fosfato (>5%).

Compostos como os ácidos nucleicos e fosfolipídios com ligação diéster são facilmente mineralizáveis (TURNER et al., 2002; CONDRON et al., 2005), sendo que sua decomposição é altamente influenciada pela umidade, temperatura e pH do solo e tais transformações do Po afetam diretamente a biodisponibilidade global de P no solo (TURNER et al., 2007). Os fosfatos monoésteres, como o fosfato de inositol, por sua vez exibem ligações de alta energia, o que lhes atribui facilidade de interação com a fração inorgânica do solo, mas dificulta a mineralização e favorece o acúmulo no solo em formas de baixa labilidade e disponibilidade às plantas (CELI et al., 1999; GIAVENO et al., 2010).

A dinâmica das frações de P no solo está diretamente vinculada às propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo e aos fatores climáticos que controlam a atividade dos microrganismos, ocasionando a imobilização ou disponibilidade dos íons fosfato. Em solos argilosos, como nos Latossolos, normalmente prevalecem formas orgânicas estabilizadas tanto físicas como quimicamente, e as formas inorgânicas de P ligadas aos minerais de argila e os óxidos de Fe/Al com alta energia de ligação (SANTOS et al., 2008). O grau de estabilidade destes compostos determina se os fosfatos são lábeis ou não-lábeis (PAVINATO et al., 2010).

A fração lábil de P é representada por compostos fosfatados capazes de retornar rapidamente à solução do solo, enquanto a fração não-lábil é caracterizada por íons retidos com alta energia às partículas do solo, ficando dessa forma prontamente indisponível para o crescimento imediato das plantas (NOVAIS et al., 2007). O nível de labilidade depende da atividade dos micro-organismos, do conteúdo de matéria orgânica, do grau de intemperização dos solos, da mineralogia e da textura do solo (WALKER; SYERS, 1976; RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001).

Após a aplicação de fertilizantes fosfatados solúveis a concentração de P na solução do solo aumenta. Entretanto, devido aos processos de adsorção e precipitação esta tende a diminuir, sendo que isso ocorre com a grande maioria dos fertilizantes (OLIBONE; ROSOLEM, 2010). De todo o P aplicado no solo via fertilizante, apenas uma fração será

aproveitada pela cultura que o recebeu, variando de 5 a 25%, ou seja, cerca de 75 a 95% dele será fixado ou adsorvido aos coloides. Apesar disso, os fertilizantes fosfatados de alta solubilidade são os mais usados devido a sua maior eficiência no curto prazo. A eficiência dessa fertilização fosfatada é influenciada por vários fatores, dentre os quais, o tipo de solo, a espécie da planta e a dose e fonte utilizada (MACIEL et al., 2007).

2.2 Fertilizantes fosfatados

As fontes de fosfato podem ser divididas quanto à solubilidade basicamente em: solúveis, pouco solúveis e insolúveis.

As principais fontes industriais de fertilizantes contendo P são obtidas por meio do tratamento de rochas fosfáticas (fosfatos naturais) originalmente de baixa solubilidade. Os fosfatos naturais podem passar por processos químicos (acidulação) com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido fosfórico (H_3PO_4), e processos físicos (lavagem ou flotação). Estes tratamentos visam aumentar a solubilidade do fertilizante e a concentração de P, produzindo o superfosfato simples (SFS), o superfosfato triplo (SFT), os fosfatos monoamônico (MAP), fosfato diamônico (DAP), e outros fertilizantes acidulados solúveis (KAMINSKI; PERUZZO, 1997).

As fontes tradicionalmente empregadas na agricultura, representando cerca de 90% do mercado de fertilizantes fosfatados, são os fosfatos solúveis em água (MOREIRA et al., 2006; LANA et al., 2004), como o SFS, SFT, MAP e DAP. Estes fertilizantes são frequentemente utilizados como fonte padrão em experimentos que avaliam a eficiência agronômica relativa de fontes de P (BOLAN; WHITE; HEDLEY, 1990). O SFS, um dos mais tradicionais fertilizantes fosfatados solúveis, é obtido através do tratamento da rocha fosfatada com ácido sulfúrico concentrado. Portanto é uma mistura de fosfato monocálcico com gesso agrícola, que contem 18% de P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio mais água (CNA + água), 12% enxofre e 26% CaO (VITTI; WIT; FERNANDES, 2003), sendo uma importante fontes de outros nutrientes, como o Ca e o S.

Na agricultura, o uso de fertilizantes fosfatados de alta solubilidade é devido a maior eficiência agronômica (BOLLAND; BOWDEN, 1982), mesmo em diferentes tipos e condições de solo e culturas. Porém, quando aplicados em solos ácidos, que apresentam alta capacidade de fixação de P, este é rapidamente reduzido a formas indisponíveis para plantas (BOLLAND, 1985; KORDORFER et al., 1999; GHOSAL et al., 2003; PROCHNOW et al., 2004). Assim, de acordo com Raij (1991), os fertilizantes solúveis em água são mais

eficientes se aplicados de forma localizada e próximo às raízes, a fim de facilitar sua absorção em locais com alta concentração de P e atenuar os efeitos da fixação. Os fosfatos naturais, por outro lado, devem reagir com partículas ácidas do solo para se dissolverem, sendo necessário, portanto, maior contato adubo-solo para que haja máxima eficiência. Dessa forma, fontes naturais são uma alternativa em solos ácidos, porque proporcionam solubilização gradual do P, limitando a adsorção específica pelas argilas (NOVAIS et al., 2007) e melhorando a eficiência do fertilizante (SOUSA et al., 2008).

Os fosfatos reativos parecem bastante promissores para o uso direto na adubação em diversas combinações de culturas e sistemas de manejo dos solos (KAMINSKI; PERUZZO, 1997; HOROWITZ; MEURER, 2003; SOUSA; LOBATO, 2004). O desempenho de alguns fosfatos naturais, especificamente os reativos, de origem sedimentar, pode se igualar ao de fontes solúveis, pelo fato de o P prontamente disponível dos fertilizantes solúveis reagirem rapidamente com as partículas do solo, enquanto os fosfatos naturais vão sendo solubilizados no decorrer do tempo, mais sincronizado com a demanda das culturas (NOVAIS; SMYTH, 1999). Desse modo, fontes naturais reativas com solubilização progressiva de P, podem diminuir a adsorção específica de P nos minerais de argilas e ter alta eficiência de aproveitamento.

O fosfato reativo de Bayóvar, uma reserva de origem sedimentar explorada mais recentemente no Peru, apresenta alta solubilidade em CNA + água. Este fosfato caracteriza-se por apresentar alto grau de substituição isomórfica do íon fosfato por carbonato, o que lhe confere maior velocidade de reação no solo, quando comparado a outros fosfatos naturais (NOVAIS et al., 2007), resultando em cristais imperfeitos, com grande porosidade (GUEDES et al., 2009). Essa característica lhe confere menor peso específico e, conseqüentemente, maior área superficial, podendo ser facilmente hidrolisado, sendo, por isso, conhecido como fosfato mole e de grande reatividade (PERUZZO; PÖTTKER; WIETHÖLTER, 1997).

2.3 Plantas de cobertura

Plantas de cobertura são utilizadas principalmente em rotação com culturas de maior interesse econômico, apresentando uma série de benefícios para a fertilidade do solo, nutrição de plantas e produtividade das culturas principais. As plantas de cobertura utilizadas no Brasil apresentam uma grande diversidade na sua composição química, produção de biomassa e ciclo fisiológico (CALEGARI et al., 1998; CALEGARI; ALEXANDER, 1998), sendo que, de modo geral, possuem diferentes habilidades de absorção e utilização de P do solo.

Em condições de deficiência de P, plantas de cobertura utilizam uma série de estratégias adaptativas para absorver e utilizar o P de frações menos solúveis do solo (ZHANG et al., 2009). Alguns fatores importantes para absorção P a serem considerados são as características morfológicas e de arquitetura da raiz (WANG et al., 2010), densidade de pelos radiculares, simbiose com fungos micorrízicos, valores de pH da rizosfera, e capacidade de emissão e tipos de exsudatos radiculares (MARSCHNER 1986; HOCKING et al., 1997).

As diferentes espécies de plantas de cobertura, por apresentarem sistemas radiculares diferenciados, podem alterar a ciclagem e a distribuição das formas de nutrientes no solo, como resultado mostram maior ou menor eficiência na utilização do P adicionado via fertilizantes (TIECHER et al., 2012). Existem espécies que tem a capacidade de solubilizar o P menos solúvel mediante a exsudação de compostos orgânicos por suas raízes, agindo na dissolução de P ligado aos coloides, disponibilizando-o para solução do solo (CHIEN; MENON, 1995). Isto também favorece a solubilização dos fosfatos naturais menos reativos, insolúveis em água, que precisam de acidez para que a dissolução se inicie. Outro fator que favorece a solubilidade dos fosfatos naturais é o dreno de P e de Ca pelas plantas (NOVAIS; SMYTH, 1999; SILVA et al., 2009).

A escolha das plantas de cobertura a serem utilizadas também é importante para a melhor absorção de P. A diversidade na seleção de genótipos quanto à capacidade de absorver P e à produção de matéria seca está associada à translocação de P a partir das raízes para a parte aérea da planta (LANA et al., 2006). Naruzzaman et al. (2006) mostraram que a avaliação e identificação de plantas de cobertura e a capacidade das espécies em utilizar formas de P moderadamente lábil do solo (P-Ca, P-Al, P-Fe) é um caminho possível para superar a deficiência e otimizar o uso de fertilizantes em áreas onde P é pouco disponível.

Em solos altamente intemperizados as plantas de cobertura são fundamentais devido sua capacidade de aumentar a troca catiônica, principalmente a partir de matéria orgânica do solo (SPERA et al., 2006), onde a adubação e calagem não são suficientes para atingir altos rendimentos econômicos (SPERA et al., 2006; CARVALHO et al., 2011). Com isso a utilização das plantas de cobertura tem aumentado nos últimos anos como estratégia para manutenção ou melhoria da fertilidade do solo (FAGERIA, 2007).

A eficiência dos ácidos orgânicos exsudados pelas plantas de cobertura pode variar, refletindo na capacidade de disponibilizar nutrientes no solo. Estas variações se dão em função de diferenças promovidas no pH, do tipo de ânion orgânico e da sua persistência no solo, pois muitos desses ácidos são degradados em poucos dias após a liberação dos resíduos vegetais (KIRK et al., 2000). Sendo assim, a ação desses compostos orgânicos parece ser

tanto de competição pelos sítios de troca como de complexação com outros íons indesejáveis (AMARAL et al., 2004).

Entre as espécies de plantas, as leguminosas são mais eficientes em absorver fontes de P pouco solúveis em comparação com as plantas não leguminosas (BOLLAND et al., 1999; VENEKLAAS et al., 2003). Esta capacidade foi atribuída a sua maior capacidade de alterar o pH da rizosfera, pela libertação de prótons e pelo excesso no consumo de cátion sobre ânion na fixação biológica de nitrogênio (TANG et al., 1998) e liberação de carboxilas por raízes (PEARSE et al., 2006a, 2006b).

O reconhecimento da importância das plantas de cobertura em absorver o nutriente do solo e utilizá-lo em seu crescimento, indica que seu uso pode ser uma opção para beneficiar sensivelmente a eficiência da fertilização fosfatada (LUCA et al., 2002). O uso de plantas eficientes na absorção de P pode possibilitar a obtenção de melhor produtividade com baixa fertilização fosfatada, sendo uma alternativa para melhorar a produção agrícola e aumentar a eficiência de uso de P.

As plantas de cobertura também podem proporcionar mudanças qualitativas e quantitativas na população de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), pois as micorrizas são beneficiadas por exsudatos radiculares específicos, que contém moléculas que estimulam a germinação de esporos e crescimento de fungos micorrízicos (BECARD; PICHE, 1989). A disponibilidade de fósforo na rizosfera é significativamente influenciada por mudanças no pH e pelos exsudados emitidos (RICHARDSON et al., 2009).

2.4 Associações de plantas com fungos micorrízicos arbusculares

A associação das raízes das plantas com os FMA é considerada uma relação simbiótica de caráter mutualista e ocorre em cerca de 74% das angiospermas (BRUNDRETT, 2009). Neste processo o fungo fornece nutrientes para as plantas, principalmente o P, sendo o principal fator para aumento da absorção desse nutriente pelas plantas em ambientes com pouco P (CHAVES DE OLIVEIRA; REIS DE CARVALHO, 2011), e em troca as plantas fornecem carboidratos para os fungos (SMITH; READ, 2008).

O mecanismo de atuação da micorriza mais aceito para explicar o benefício em relação ao P é que as plantas micorrizadas exploram uma área maior de solo, em relação às raízes isoladas. O fosfato solubilizado, porém, só poderá ser absorvido pela raiz quando os íons fosfatos se localizam na região de contato imediato com a superfície da raiz. Contudo, nas plantas micorrizadas, as hifas extrarradiculares vão muito além, explorando grande volume do

solo não acessível às raízes. A difusão limita a absorção de nutrientes de baixa mobilidade no solo e cada pêlo radicular seria responsável pela difusão de nutrientes a uma distância máxima de 0,5 mm, sendo que o incremento do micélio fúngico sobre os pêlos radiculares, efetivamente, seria de 0,2 a 1,6 mm com uma taxa de difusão de cerca de 2 a 3 vezes maior (MOSSE, 1959; NICOLSON, 1959; LEWIS; QUIRK, 1965; DREW; NYE, 1970; BIELESKI, 1973).

Além do P, os FMA melhoram o consumo e a translocação de outros nutrientes minerais como N, S, K, Ca, Fe, Cu, e Zn, do solo para as plantas, por extensão da rede de hifas, que se formam a partir de raízes colonizadas no ambiente do solo (GIOVANNETTI; AVIO, 2002; SMITH; READ, 2008). O efeito dos fungos micorrízicos sobre o crescimento das plantas é especialmente significativo com relação aos nutrientes de baixa mobilidade no solo, pois estes praticamente não se movem por fluxo de massa, porém chegam à raiz por meio de mecanismos de difusão, que é um processo extremamente lento no solo (MARSCHNER, 1995). Também pode ter o efeito de melhorar a agregação e estabilidade do solo e ajudar na redução do stress das plantas causado por efeitos bióticos e abióticos (SMITH; READ, 2008).

Para a formação e funcionamento de simbiose, o estado nutricional das plantas é importante. Em situações de deficiência de P e N as plantas liberam mais exsudatos no solo, o que estimula a colonização das raízes pelos FMA (SCHWAB et al., 1991; HARRISON, 2005; YONEYAMA et al., 2007).

As hifas dos FMA também apresentam uma região de influência no solo, denominada de micorrizosfera, habitada por grande número de bactérias, muitas delas em protocooperação com o fungo, facilitando a sua penetração nas raízes (GARBAYE, 1994).

Os FMA são divididos em três classes (Archaeosporomycetes, Glomeromycetes e Paraglomeromycetes), sendo reorganizados com base na sequência ribossômica combinada e na análise morfológica. Isso deu origem a uma nova classificação de FMA, de modo que atualmente o filo Glomeromycota inclui 5 ordens (Archaeosporales, Diversisporales, Gigasporales, Glomerales e Paraglomerales), 14 famílias e 26 gêneros (OEHL et al., 2011, 2011).

Avaliação da diversidade dos FMA em condições de campo é realizada pelo método do estudo quantitativo e qualitativo de esporos e associação micorrízica (CÓRDOBA et al., 2002). No entanto, apenas esses valores correspondentes à abundância ou número de esporos no solo não podem ser tomados como único indicativo da associação micorrízica. A baixa presença de esporos no solo não indica necessariamente que não exista associação na área de

estudo, mas sim um espaço de tempo entre a associação e a esporulação (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A biomassa das hifas de FMA pode chegar a valores que vão de 54 a 900 kg ha⁻¹ (ZHU; MILLER, 2003) e seu comprimento pode atingir dezenas de metros por grama de solo (NOGUEIRA; CARDOSO, 2000a). Além disso, alguns produtos formados, como a glomalina, podem exceder de 10 a 20 vezes a biomassa microbiana do solo (RILLIG et al., 2001; LOVELOCK et al., 2004).

Estudos têm comprovado que baixas doses de P aumentam a micorrização e eficiência da FMA em gerar aumento na matéria seca das plantas, enquanto altas doses de P prejudicam a micorrização (BRESSAN et al., 2001). Em recente estudo da expressão de genes evidenciou-se que as plantas expressam um conjunto comum de genes induzidos pelas micorrizas e que existe diversidade funcional em simbioses com FMA (FEDDERMANN et al., 2010). A expressão diferencial da associação simbiótica entre genes de diferentes associações com FMA está relacionada com as espécies de fungos, genótipo da planta e fatores ambientais (BUCHER, 2007; SMITH et al., 2010). Existem algumas espécies de plantas micótroficas que podem aumentar certa quantidade de inóculos micorrízicos no solo e, com isso, aumentar a absorção de P e rendimento das culturas subsequentes (KABIR; KOIDE, 2000). Já é reportado aumento no número de esporos na cultura principal quando canavalia (*Canavalia ensiformis*) é usada como adubo verde em rotações (MARTIN et al., 2008).

Os FMA podem melhorar também a relação água-planta, especialmente sob limitações nutricionais, sendo que o micélio externo pode promover aumento na estabilidade de agregados do solo (ALBUQUERQUE et al., 2005; PURIN, 2005). Portanto, as micorrizas são multifuncionais nos agroecossistemas (NEWSHAM et al., 1995), melhorando potencialmente a qualidade física, química e biológica do solo (BERBARA et al., 2006), componentes estes da chamada fertilidade ampla do solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi implantado em novembro de 2012, na área experimental da Fazenda Areião, ESALQ-USP, localizado no município de Piracicaba - SP, Brasil, coordenadas geográficas 22° 41' 32" S, 47° 38' 39" O, altitude média de 560 metro. (Figura 1). O clima local é classificado como Cfa segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 20,8 °C e precipitação pluviométrica média de 1255 mm.

Figura 1 - Vista geral e localização da área experimental. (Fonte: GOOGLE EARTH TM, 2012)

O solo da área é classificado como um nitrossolo vermelho distrófico, textura muito argilosa (SANTOS et al., 2013). Antes da instalação do experimento, a área foi cultivada com milho, soja e permaneceu em pousio, respectivamente, nos últimos três ciclos agrícolas de verão.

Para caracterizações químicas e granulometria do solo foram coletadas amostras antes da implantação do experimento, sendo as mesmas coletadas em três camadas (0-5; 5-10; e 10-20 cm). As análises químicas e granulométricas do solo foram realizadas segundo metodologias descritas por Raij et al. (2001) e Camargo et al. (1986), respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização química e granulométrica do solo antes da implantação do experimento nas camadas superficiais

Camada (cm)	pH CaCl ₂	P resina mg dm ⁻³	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺ mmol _c dm ⁻³	Mg ²⁺	K ⁺	V %
0-5	5,5	31	<1	31	54	12	6	70
5-10	5,5	19	<1	31	60	12	3,7	71
10-20	5,6	13	<1	28	51	12	1,8	70
Camada (cm)	Argila		Silte		Areia			
			g kg ⁻¹					
0-5	574		126		299			
5-10	596		107		297			
10-20	594		121		285			

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 5x3, com quatro repetições, em parcelas de 5x5 m totalizando 25 m² de área. Os tratamentos foram compostos por quatro espécies de plantas de cobertura: milheto (*Pennisetum glaucum*), braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), guandú anão (*Cajanus cajan*) e crotalária (*Crotalaria juncea*), além do controle (pousio) combinado às fontes de P: fosfato natural reativo Bayóvar (29% P₂O₅ total, 14% solúvel em CNA+H₂O), superfosfato simples (18% de P₂O₅ solúvel em CNA+H₂O), além de um controle, sem adubação fosfatada.

Os fertilizantes foram aplicados manualmente a lanço, na dose de 165 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel em CNA + água, por ocasião da semeadura das plantas de cobertura em 2012. A adubação fosfatada foi realizada em dose única, aplicada a lanço em área total, sem incorporação. No segundo ano foi somente avaliado o efeito residual da fertilização do ano anterior.

3.3 Implantação e condução do experimento

As plantas de cobertura foram cultivadas por dois anos consecutivos, sempre no período chuvoso (verão/outono), entre os meses de novembro e maio de 2012/13 e 2013/14.

O espaçamento utilizado para cada cultura foi de 0,40 m entre linhas. A quantidade de sementes foi, milheto 12 Kg ha⁻¹, o guandú 35 Kg ha⁻¹, a crotalária 12 Kg ha⁻¹ e braquiária 10 Kg ha⁻¹ foram usados para a semeadura (Figura 2). No segundo ciclo de cultivo a braquiária não necessitou de ressemeadura, uma vez que ainda estava remanescente na área, apenas sendo avaliado o rebrote da mesma. As demais espécies foram ressemeadas em 2013.

O manejo das plantas de cobertura foi realizado em base com as recomendações para cada cultura. Visando controlar as plantas daninhas, as parcelas do pousio foram mantidas sempre sem vegetação, com controle químico com herbicida glifosato, na dose de 2 L ha^{-1} . Nas parcelas com as coberturas o controle das plantas daninhas foi realizado através de capina manual.

Figura 2 - Instalação do experimento: limpeza da área e semeadura das plantas de cobertura.

3.4 Amostragens de planta e solo

No final do período de chuvas de cada ano (abril/maio de 2013 e 2014), foi realizada a coleta de amostras de plantas para análise e determinação da massa seca acumulada, bem como amostras de solo para avaliação dos efeitos das fontes fosfatadas e das espécies de cobertura (Figura 3). Para obtenção de amostras do tecido vegetal foi realizado o corte rente ao solo das plantas de cobertura em uma área de 1 m^2 por parcelas, sendo as mesmas secas em estufa até massa constante, seguidas de pesagem e determinação da massa seca, em kg ha^{-1} (Figura 3D).

Para análise de fracionamento de P no solo foram coletadas amostras nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, com pá-de-corte (Figura 3C) e, posteriormente, estas foram secas ao ar. Nesta ocasião também foi realizada a coleta de solo dentro de cada parcela em cinco pontos equidistantes, para formar uma amostra composta, na profundidade de 0-20 cm. Estas

amostras foram coletadas com auxílio de uma sonda e mantidas refrigeradas até o momento das análises de contagem de esporos (Figura 3A).

Foram coletadas raízes das espécies de cobertura para determinação da colonização micorrízica. Para isso, foram selecionadas as raízes, de acordo com o diâmetro radicular, sendo coletadas as mais finas e superficiais de cada um das plantas de cobertura (Figura 3B). As amostras foram conservadas em álcool etílico 70% até as análises em microscópio. As amostragens de raízes foram realizadas no ano de 2013 em duas épocas, nos meses de maio e setembro, sendo época chuvosa e seca, respectivamente, e no ano de 2014 somente no mês de maio, sendo considerada época chuvosa (Figura 4).

Figura 3 - Amostragem do solo para o número de esporos (A), coleta das raízes das espécies de cobertura (B), coleta de solos para análises de fracionamento de P (C), amostra de planta para determinar massa seca (D)

Figura 4 - Distribuição da precipitação durante o período e localização das coletas (dados fornecidos pelo Departamento de Engenharia Biossistemas – LEB/ESALQ), no período de dezembro de 2012 a julho de 2014. Setas indicam o mês de coleta de raízes e solo para análise micorrízica.

3.5 Análises

3.5.1 Densidade de esporos de FMA no solo

A determinação da densidade de esporos procedeu-se segundo a metodologia descrita por Gerdemann e Nicolson (1963). A extração foi realizada em uma amostra de 50 g de solo, passada por peneiras de 0,71 mm e 0,045 mm em sequência, sendo depois centrifugada em tubos de 50 mL com água destilada à 5000 rpm durante cinco minutos, com posterior centrifugação em solução aquosa de sacarose 70% à 5000 rpm, por cinco minutos. Esta etapa foi repetida por duas vezes. Os esporos foram contados com auxílio de microscópio estereoscópico, com aumento de 40 vezes, em uma placa canelada.

3.5.2 Porcentagem de colonização micorrízica

As amostras de raízes conservadas em álcool etílico 70% foram lavadas com água e clareadas com KOH 10% por 24 horas. Posteriormente, foram aquecidas a 90 °C em banho-

maria em KOH 10% por 40 minutos, com posterior clarificação com H₂O₂ 10%. Em seguida, as raízes foram coradas por 40 segundos a 90 °C com tinta azul e submersas em lactoglicerol para conservação (VIERHEILIG et al., 1998). A colonização das raízes foi analisada com auxílio de microscópio estereoscópico, pelo método de placa reticulada, segundo Giovannetti e Mosse (1980).

3.5.3 Fracionamento do fósforo do solo

O fracionamento de fósforo do solo foi realizado de acordo com metodologia proposta por Hedley, Stewart e Chauhan (1982), seguida de modificações por Condon, Goh e Newman (1985). Foram utilizados 0,5 g de solo submetidos a diferentes extratores em ordem sequencial: resina de troca aniônica e NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ (frações inorgânica e orgânica lábeis), NaOH 0,1 mol L⁻¹ e HCl 1,0 mol L⁻¹ (frações inorgânica e orgânica moderadamente lábeis) e NaOH 0,5 mol L⁻¹ (frações inorgânica e orgânica não lábeis) (Figura 5). Todas estas extrações foram com duração de 16 horas, com agitação em agitador orbital tipo Wagner. Após estas extrações, as amostras residuais foram extraídas por digestão com H₂SO₄ concentrado e H₂O₂ (fração residual).

As leituras dos extratos foram feitas em espectrofotômetro de absorção, seguindo a metodologia de Murphy e Riley (1962) para os extratos ácidos e segundo Dick e Tabatabai (1977) para os extratos alcalinos. As frações orgânicas foram estimadas pela diferença entre as frações totais, após a digestão dos extratos alcalinos, e as frações inorgânicas, determinadas diretamente no extrato.

Figura 5 - Esquema do fracionamento de fósforo proposto por Hedley, Stewart e Chauhan (1982), com as modificações propostas por Condron, Goh e Newman (1985). Adaptado de Rotta (2012).

3.5.4 Produção de massa seca e acúmulo de P

As amostras de tecido vegetal foram coletadas das espécies para estimar o rendimento de massa seca (MS), sendo a mesma obtida após secagem da biomassa até massa constante, em estufa à 60 °C. Para avaliar o estado nutricional das plantas, foram realizadas análises químicas de tecido vegetal quanto ao teor de P. No extrato obtido por digestão nitroperclórica, o P foi determinado pelo método colorimétrico (MALAVOLTA et al., 1997). O total de P acumulado foi estimado a partir da porcentagem do nutriente no tecido e total de matéria seca produzida por hectare.

3.6 Análises estatísticas

Para a análise estatística do número de esporos e da porcentagem de colonização micorrízica foram utilizados modelos lineares generalizados, apresentando uma distribuição quasipoisson e QuasiBinomial, respectivamente. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa R (Development Core Team, version 3.1.1).

Os dados de fracionamento de P, produção de MS e total de P acumulado no tecido foram submetidos à análise de variância com auxílio do programa SAS 9.2 (SAS INSTITUTE, 2008), considerando o efeito isolado dos fatores ou a interação, quando foi significativa, sendo as médias comparadas pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Colonização radicular por FMA

A colonização micorrízica das raízes das plantas de cobertura por FMA apresentou interação entre fontes fosfatadas e planta de cobertura na época seca do ano 2013 (Tabela 2). Para as duas épocas chuvosas, tanto de 2013 quanto 2014, apenas as plantas de coberturas influenciaram significativamente na colonização micorrízica, não havendo efeito das fontes fosfatadas.

Tabela 2 - Análise de variância para colonização micorrízica em função de fontes fosfatadas e plantas de cobertura

Causa de Variação	Colonização micorrízica		
	2013		2014
	Chuvosa	Seca	Chuvosa
FF	ns	*	ns
PC	*	*	*
FF*PC	ns	*	ns

*significativo a 5% pelo teste de F; ns = não significativo.

FF= fontes fosfatadas; PC= plantas de cobertura.

A colonização radicular em geral variou de 36,9 a 54,5% nas plantas de cobertura na época chuvosa do ano 2013 e de 25,5 a 39,5% nas plantas de cobertura na época chuvosa do ano 2014 (Tabela 3). Observou-se diferença entre as plantas de cobertura, sendo que as raízes de guandú e milheto foram mais colonizadas pelos FMA em relação à braquiária e crotalária no ano 2013. Comparando a mesma época de estudo para o ano 2014, pode-se observar que a colonização foi variável e as maiores porcentagens de colonização micorrízica foram verificadas na crotalária, guandú e braquiária, não diferindo entre si, com menor colonização no milheto. Miranda, Vilela e Miranda (2005) mencionam que algumas plantas leguminosas e gramíneas de interesse agrônomo são altamente micotróficas, o que pode contribuir para o alto índice de colonização radicular para esse grupo de plantas, como no caso do cultivo de guandú, crotalária (*Crotalaria juncea*) e capim buffel (*Cenchrus ciliaries*).

Uma vez que o sistema radicular das culturas usadas como plantas de cobertura é bem contrastante, a colonização micorrízica se deu de forma diferenciada, podendo isto estar relacionado, sobretudo à morfologia das raízes das plantas. Segundo Vandenkoornhuyse et al. (2002, 2003) e Scheublin et al. (2004), pode ocorrer um reconhecimento mútuo devido a

mecanismos bioquímicos, sendo que este confere um gradiente de especificidade na simbiose, afetando diretamente a colonização micorrízica.

O guandú apresentou preferência à associação com FMA. Essa associação possivelmente proporciona aumento na absorção de nutrientes do solo pelas plantas, principalmente de P, consequentemente, melhorando o aproveitamento do fertilizante, especialmente em solos de baixa fertilidade (MIRANDA; MIRANDA, 1997; MOLTOCARO, 2007).

Tabela. 3 - Médias de colonização micorrízica por FMA nas raízes de plantas de cobertura na época chuvosa (maio) dos anos de 2013 e 2014

Plantas de cobertura	Colonização micorrízica (%)	
	2013	2014
Guandú	54,5 A*	37,2 A
Crotalária	43,9 B	39,5 A
Milheto	53,2 A	25,5 B
Braquiária	36,9 B	35,9 A
C.V. (%)	19,4	22,9

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

A maior colonização por FMA na primeira coleta, na época chuvosa de 2013, pode estar relacionada às diferenças das plantas de cobertura quanto à emissão de novas raízes. As chuvas se intensificaram na região no período de janeiro até abril, o que propiciou a maior formação de novas raízes, necessárias para a colonização pelos FMA. No entanto, esse comportamento não foi observado em 2014 em função de ter ocorrido menor precipitação (Figura 4). Segundo Oliveira et al. (1998) existe relação linear entre colonização micorrízica e umidade do solo em plantas perenes, manifestando-se maiores porcentagens de colonização micorrízica em épocas de chuvas, o que está relacionado à maior atividade das raízes nessa época do ano. Além disso, a colonização micorrízica pode ser influenciada por vários outros fatores, como idade da planta, espécie vegetal, densidade de raízes e dos propágulos de FMA e manejo de solo (AFEK et al., 1990).

No período chuvoso do ano 2014 houve redução de colonização em relação ao período chuvoso de 2013 (Tabela 3). Essa redução da colonização está relacionada a seca prolongada (Figura 4), que ocorreu na região. Assim, as mudanças climáticas podem ter diminuído a colonização micorrízica. Segundo Staddon et al. (2003), as secas podem afetar diretamente as mudanças na densidade do micélio extra radicular, diminuindo com isso a colonização das raízes e as atividades fisiológicas das plantas.

A colonização das raízes na época seca variou com a fonte fosfatada e com as plantas de cobertura, de maneira dependente (Tabela 4). Considerando a interação, verifica-se que o milho foi a espécie com maior colonização micorrízica na ausência de adubação fosfatada (controle). Quando fertilizado com fosfato natural (FNB), a colonização não diferiu entre as plantas de cobertura. Já quando fertilizado com fosfato solúvel (SFS) o guandú apresentou maior colonização e a crotalária apresentou a menor colonização micorrízica. A aplicação de altas doses de fosfatos solúveis pode diminuir a colonização micorrízica (LAMBAIS; CARDOSO, 1993; SANTOS et al., 2001), sendo isso um fato dependente da fonte de fosfato utilizada (MIRANDA, 1982). No entanto, no presente trabalho não foi observado esse efeito de redução na colonização quando fertilizado com fontes solúveis ou reativas de fosfatos, havendo inclusive aumento em algumas espécies, como na braquiária e guandú.

Tabela 4 - Colonização micorrízica por FMA em função de fontes fosfatadas e de plantas de cobertura, época seca (Setembro) de 2013

Plantas de Cobertura	Colonização micorrízica								
	Sem P			SFS			FNB		
Guandú	36,38	AB*	b	50,34	A	a	36,59	A	b
Crotalária	31,09	B	a	35,27	C	a	37,96	A	a
Milheto	42,30	A	a	43,94	AB	a	42,72	A	a
Braquiária	35,11	B	b	37,67	BC	ab	43,82	A	a
C.V. (%)	11,9								

SFS: Superfosfato Simples FNB: Fosfato Natural de Bayóvar.

*Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de LSD, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

O uso de algumas espécies de leguminosas como a crotalária favorece a colonização, esporulação e a diversidade de espécies de micorrizas (COLLOZI FILHO; BALOTA, 1994). No presente estudo, porém, a crotalária demonstrou o menor desempenho entre os tratamentos com plantas de cobertura quanto à colonização por FMA (Tabela 4). O guandú apresentou maior colonização com aplicação de SFS, porém nos tratamentos sem P e com FNB esta espécie mostrou baixa colonização. A crotalária e o milho não mostraram efeito significativo para as fontes fosfatadas. Já a braquiária mostrou melhor colonização com FNB, diferindo do controle. Neste período seco a colonização micorrízica decresceu significativamente nas raízes das plantas de coberturas em relação a período chuvoso de 2013.

4.2 Número de esporos de FMA

Pela análise de variância foi observado efeito significativo somente das plantas de cobertura no número de esporos de FMA no solo, na época chuvosa do ano 2013. Nas demais épocas nenhuma fonte de variação afetou o número de esporos de FMA no solo.

Na época chuvosa de 2013, o número de esporos foi baixo de maneira geral, entretanto, o guandú seguido da braquiária foram os que promoveram maiores valores (Tabela 5). De acordo com Collozzi-Filho e Balota (1994), algumas plantas são capazes de liberar exsudatos radiculares, capazes de incrementar a germinação de esporos e o crescimento de FMA, como no caso de algumas leguminosas de cobertura (*Crotalária spectabilis*, *C. mucronata*, *Mucuna aterrima* e *Vigna unguiculata*), favorecendo a esporulação. Neste trabalho os autores citam que a cobertura que favoreceu o aumento no número de esporos foi *Crotalária mucronata*, devido às grandes quantidades de metabólitos secundários produzidos por esta espécie, como os compostos aromáticos biologicamente ativos (SIQUEIRA et al., 1991). Outro fator importante para o incremento do número de esporos dos FMA no solo pelas leguminosas pode ser atribuído à alta concentração de N no solo, existindo um benefício mútuo entre o rizóbio e os FMA (EOM et al., 2000).

Tabela 5 - Número médio de esporos de FMA em 50 g de solo em diferentes espécies de plantas de cobertura no ano 2013 (época chuvosa e seca) e 2014 (época chuvosa)

Plantas de Cobertura	Número de esporos					
	2013			2014		
	chuvosa		seca	chuvosa		
Guandú	18,5	A*	16,1 A	15,3	A	
Crotalária	9,4	B	16,4 A	16,3	A	
Milheto	11,8	B	19,5 A	26,3	A	
Braquiária	14,4	A	24,9 A	31,8	A	
C.V. (%)	11,8		15,4	12,8		

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Este resultado demonstra que algumas plantas de cobertura podem promover aumento da densidade de esporos, como já constatado em outros estudos. Angelini et al. (2012) verificaram que as plantas de coberturas influenciam a densidade de esporos na rizosfera de milho cultivado sob plantio direto, onde o milheto proporcionou maior esporulação, seguido de braquiária e crotalária.

No período chuvoso de 2013 foram observados os menores números de esporos no solo (Tabela 5). No período seco o número de esporos aumentou com as coberturas, comparado com os resultados observados na época chuvosa. Esse aumento gradativo após a primeira amostragem pode ocorrer em virtude do maior estresse da planta, ou pode estar relacionado à fenologia da planta, já que os esporos incrementam quando as raízes diminuem seu crescimento (menor precipitação).

No período chuvoso de 2014 o número de esporos aumentou significativamente, apesar de ser uma época normalmente chuvosa, essa época foi bem mais seca que 2013, (Figura 4). No momento da coleta do solo, nestas condições, as plantas estavam em estresse e o déficit de água beneficia o número de esporos, uma vez que esperava-se maior número de esporos na época seca, pois a área estava submetida a um forte estresse hídrico, o que poderia contribuir para aumentar esse parâmetro. Isto também foi observado por Guerrero (1996) em que o déficit de água resultou em condições adversas para a produção de esporos na época seca. Além disso, a produção de esporos de FMA é um mecanismo de perpetuação dos fungos, isto acontece quando a planta e o fungo são submetidos a algum estresse (JOHNSON; PFLEGER, 1992; GUADARRAMA; ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, 1999; MIRANDA, 2008).

4.3 Produção de matéria seca das plantas de cobertura

Não houve interação significativa para a fonte fosfatada e as plantas de cobertura na produção de massa seca (MS), nos dois anos avaliados, bem como as fontes fosfatadas não interferiram nessa MS, sendo que houve apenas efeito para o fator plantas de cobertura, nos dois anos avaliados. Essa não resposta à adubação fosfatada possivelmente está associada ao nível médio de P disponível no solo (Tabela 1) por ocasião da implantação do experimento e ao fato de limitações climáticas terem prejudicado o desenvolvimento das culturas no segundo ciclo de avaliação.

No ano de 2013, a maior produção de MS foi do milheto ($13.760 \text{ kg ha}^{-1}$) em relação às demais espécies (Tabela 6). Isso pode ser explicado pelo sistema radicular profundo e alta capacidade de extração de nutrientes que apresenta esta espécie. Por outro lado, alguns estudos comparando espécies de cobertura mostram que o guandú destacou-se como uma espécie de maior potencial para produção de MS (ALVARENGA et al., 1995). Alcântara et al. (2000) também observaram a grande capacidade na produção de MS do guandú, que variaram de 13.200 a $13.800 \text{ kg ha}^{-1}$ o que não foi obtido neste trabalho. A menor produção de MS do guandú no presente estudo pode estar associada o seu lento desenvolvimento, em

função do menor período chuvoso na região, o que pode ter limitado seu potencial de crescimento.

Tabela 6 - Massa seca das plantas de coberturas em função de fontes fosfatadas, nos anos 2013 e 2014

Plantas de Cobertura	Massa Seca	
	kg ha ⁻¹	
	2013	2014
Guandú	9365 B*	7484 B
Crotalária	9744 B	7680 B
Milheto	13760 A	9066 B
Braquiária	9665 B	24117 A
C.V. (%)	3,33	33,96

*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de LSD a 5% de probabilidade de erro

Em relação ao milheto, Pitol et al. (1996) mencionam que a produção de MS pode variar de 4.000 a 5.000 kg ha⁻¹, sendo bastante inferiores aos observados aqui. No entanto, em solos de cerrado podem atingir entre 10.024 a 10.316 kg ha⁻¹ (CARVALHO, 2000). Em estudo sob Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso, obteve-se produção de MS de milheto de 11.834 kg ha⁻¹ (SUZUKI; ALVES, 2006), resultados semelhantes aos obtidos nesta pesquisa. O milheto como cultura produtora de massa seca se destaca por apresentar um sistema radicular que pode alcançar cerca de 3,60 m de profundidade (SKERMAN; RIVEROS, 1992). Quando é cultivada em safrinha, pode produzir em média de 6 a 10.000 kg ha⁻¹ de MS (GUIMARÃES; JUNIOR, 2003). Também apresenta grande eficiência na transformação de água em MS, necessitando de 282 a 302 g de água para poder produzir 1 g de MS. Além disso, possui tolerância à altos níveis de Al livre no solo (BUERKERT et al., 1995) e, sendo assim, as condições climáticas possivelmente influenciaram a capacidade de produção de MS da cultura.

No ano de 2014, a braquiária apresentou maior produção de MS em relação às demais espécies (Tabela 6). Nas demais plantas de coberturas as produções de MS não diferiram significativamente entre si. A explicação para os resultados de braquiária é que neste segundo corte a MS incrementou mais de 100% pelo fato de que a braquiária é uma cultura perene e se manteve vegetando no período seco, então no segundo ano acumulou muita palhada residual e nova (a amostragem envolveu a coleta de todo material vegetal), o que contribuiu para se obter esses valores muito altos, diferentemente das demais espécies, que foram ressemeadas a cada ciclo.

O milho foi o destaque de MS no ano de 2013, enquanto que a braquiária, se destacou em 2014. Gomes et al. (1997) manifesta que as gramíneas apresentam um desenvolvimento melhor na fase inicial da fenologia que as leguminosas.

4.4 Acúmulo de P no tecido vegetal

Para o P acumulado no tecido vegetal das espécies de cobertura não houve interação significativa entre os fatores avaliados, sendo observadas somente diferenças entre as plantas de cobertura, para ambos os anos. O milho apresentou maior quantidade de P acumulado na MS em relação às demais espécies, evidenciando, portanto, eficiência na extração de P em relação às leguminosas em estudo, no ano 2013 (Tabela 7). O acúmulo de P do milho neste trabalho foi maior que os obtidos por Oliveira et al. (2002) e Moraes (2001), que obtiveram 24,8 e 23,1 kg ha⁻¹. Isso se explica em virtude da colheita ter sido realizada 150 dias após a semeadura, com o grão formado, o qual acumulou 70,2 kg ha⁻¹ em 2013, já em 2014 esse valor foi menor (51,0 kg ha⁻¹).

Tabela 7 - Acúmulo médio de P na massa seca de plantas de cobertura em função da adubação fosfatada, nos anos 2013 e 2014

Plantas de Cobertura	Acúmulo de P	
	Kg ha ⁻¹	
	2013	2014
Guandú	47,8 B*	35,4 B
Crotalária	49,7 B	33,1 C
Milho	70,2 A	51,0 B
Braquiária	49,7 B	126,3 A
C.V. (%)	33,96	9,27

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de LSD a 5% de probabilidade de erro

Seu sistema radicular vigoroso e sua alta capacidade de absorver nutriente como o P, são as principais características que o milho apresenta, sendo uma gramínea que possui raízes superficiais em abundância, além de comprimento radicular podendo atingir até 3,60 m. O sistema radicular profundo permite que a ciclagem de nutrientes ocorra em grandes quantidades, proporcionando dessa maneira maior quantidade de P nas camadas superficiais, oriundas da palhada depositada (SKERMAN; RIVEROS, 1992).

No ano de 2014 a braquiária apresentou maior quantidade de P acumulado na MS em relação às demais espécies. Isso aconteceu devido a dois anos de resíduos acumulados, com

maior MS, o que se relacionou com os maiores acúmulos de P nesta palhada (Tabela 7). Comparando-se o P acumulado nas duas épocas avaliadas, no ano de 2014 foi menor na maioria das plantas, exceção da braquiária. Esse baixo acúmulo foi devido ao fato de ocorrerem condições climáticas desfavoráveis no segundo ano do experimento. No caso do P, a difusão de íons fosfato é influenciada pela umidade do solo, sendo que a falta de precipitação nos meses do experimento dificultou a absorção de P pelas plantas de cobertura.

Em geral, as coberturas de milheto e braquiária, nos dois anos avaliados, foram melhores quanto ao acúmulo de P na parte aérea. Corroboram com os resultados atuais os reportados por Foloni et al. (2008) que também mencionam que o milheto e braquiária são altamente eficiente na absorção de P, e por Veronese et al. (2012), que descrevem que o milheto e braquiária resultaram em maior extração de P.

4.5 Frações de P no solo

A análise de variância para as frações de P no solo, cuja amostragem foi realizada do ano 2014, após dois anos de cultivo, está apresentada na Tabela 8. Os resultados indicam que houve interação entre os fatores de estudo (plantas de cobertura e fontes fosfatadas), na camada 0-5 cm para as variáveis P_{iRTA} e P_{iBIC} . Na camada de 5-10 cm também foi observada interação nas variáveis P_{iRTA} e $P_{residual}$. Na camada 10-20 cm não houve efeito significativo de interação entre as fontes fosfatadas e as plantas de cobertura.

As fontes fosfatadas interferiram significativamente de forma isolada nas frações de $P_{iNaOH\ 0,1}$, P_{HCl} , $P_{iNaOH\ 0,5}$, $P_{residual}$ na camada 0-5 cm e P_{iBIC} e P_{HCl} na camada 5-10 cm. Para o fator plantas de cobertura houve diferença significativa isolada em apenas algumas frações, sendo elas $P_{iNaOH\ 0,5}$, $P_{oNaOH\ 0,5}$ e $P_{residual}$ na camada 0-5 cm, na camada de 5-10 cm para as frações P_{iBIC} , P_{oBIC} , $P_{iNaOH\ 0,1}$, $P_{oNaOH\ 0,1}$ e $P_{iNaOH\ 0,5}$, enquanto que para as frações P_{RTA} , P_{oBIC} , P_{HCl} , $P_{iNaOH\ 0,5}$ na camada 10-20 cm (Tabela 8).

4.5.1 Frações inorgânicas

Desdobrando a interação entre as plantas de cobertura e fontes fosfatadas na camada mais superficial (0-5 cm) para o teor de P_{iRTA} (Tabela 9), nota-se que onde foi aplicado SFS a crotalaria se destacou como a melhor entre as plantas de cobertura, seguida do guandú e pousio. Sob adubação com FNB ou sem adubação, o pousio se destacou das coberturas, proporcionando maior teor de P_{iRTA} no solo, não havendo diferença entre as plantas de

cobertura. Isto pode ser atribuído ao não uso do P oriundo do fertilizante (quando sob FNB), já que as parcelas de pousio sempre foram mantidas sem planta.

Tabela 8 - Análise da variância para frações de P do fracionamento de Hedley em função de fontes fosfatadas e plantas de cobertura, 2014

Causa de Variação	Frações de P do fracionamento de Hedley									
	P _{RTA}	P _{iBIC}	P _{oBIC}	P _{iNaOH 0,1}	P _{oNaOH 0,1}	P _{HCl}	P _{iNaOH 0,5}	P _{oNaOH 0,5}	P _{residual}	P _{total}
	-----2014-----									
	0-5 cm									
FF	*	*	ns	ns	*	*	*	ns	*	*
PC	*	*	ns	ns	ns	ns	*	*	*	ns
FF*PC	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	5-10 cm									
FF	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
PC	*	*	*	*	*	ns	*	ns	*	ns
FF*PC	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
	10-20 cm									
FF	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PC	*	ns	*	ns	ns	*	*	ns	ns	ns
FF*PC	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

*Significativo a 5% pelo Teste F; ns - não significativo

FF= fontes fosfatadas; PC= plantas de cobertura

Na camada de 5-10 cm foi possível observar que, sob a ausência de adubação, não houve diferença nos teores de P_{RTA} entre as plantas de cobertura. Já onde foi aplicado SFS, o guandú se destacou entre as plantas, proporcionando maior teor de P nesta fração (Tabela 9). O guandú tem uma característica especial, os exsudatos das raízes contêm ácido malonato e pode mobilizar P ligado a Fe e Al (AE et al., 1991; OTANI et al., 1996), e a atividade dos exsudatos é incrementada nesta espécie (SUBBARAO et al., 1997). Isso pode ter contribuído para os resultados obtidos, já que esses ácidos podem dissolver e ocupar os sítios de adsorção de P no solo. De acordo com Carvalho e Amabile (2006), quando acontece essa solubilização e o P disponível resultado desse processo é absorvido em maiores quantidades pela própria planta.

Analisando o efeito das fontes fosfatadas nas plantas de cobertura, na camada 0-5 cm, tanto para o guandú quanto para braquiária sob SFS e FNB resultaram em maior teor de P_{RTA}. Já para a crotalária observa-se que a adubação com SFS resultou num maior teor de P disponível ao solo (Tabela 9). Na camada 5-10 cm, o guandú com SFS apresentou um maior teor de P, observar-se que as demais espécies com as outras fontes não tem efeito significativo. Na camada de 10-20 cm não houve efeito da interação, apresentado diferença apenas entre as plantas de cobertura, sendo que o braquiária e crotalária se destacaram entre estas, seguido de milheto e guandú, diferindo estatisticamente de pousio.

Pode-se observar de forma geral que as médias dos teores de Pi_{RTA} em função das fontes fosfatadas aumentaram somente na camada mais superficial analisada (0-5 cm), isso devido à forma de aplicação das fontes fosfatadas, que foram aplicados à lanço. Portanto, a forma de aplicação tem influenciado nos teores na camada de 0-5 cm. Isso também foi visto por Olibone e Rosolem (2010), em que a aplicação de fertilizantes fosfatados promoveu mudanças na fração lábil de P, principalmente quando fontes solúveis foram usadas.

Tabela 9 - Teores médios de P inorgânico extraído com resina de troca aniônica (Pi_{RTA}) em solo cultivado com plantas de cobertura submetidas à ausência de adubação fosfatada ou adubação com Fosfato Natural Bayóvar (FNB) ou Superfosfato Simples (SFS), 2014

Plantas de Cobertura	Pi _{RTA}							
	Sem P		SFS		FNB		Média	
-----mg kg ⁻¹ -----								
0-5 cm								
Pousio	16,3	Aa*	19,7	Ba	19,2	Aa	18,4	A
Guandú	10,0	ABb	20,8	Ba	16,8	ABa	15,9	A
Crotalária	9,1	Bb	30,7	Aa	13,2	ABb	17,7	AB
Milheto	12,3	Aab	12,0	Ca	10,7	Ba	11,7	C
Braquiária	6,9	Bb	17,7	BCa	14,2	ABa	12,9	BC
Média	10,9	c	20,2	a	14,9	b		
C.V. (%)	30,8							
5-10 cm								
Pousio	8,1	Aa	8,1	Ba	9,7	Aa	8,6	AB
Guandú	6,7	Ab	15,1	Aa	7,2	ABb	9,2	A
Crotalária	6,4	Aa	9,1	Ba	6,8	ABa	7,4	ABC
Milheto	6,5	Aa	5,7	Ba	5,8	Ba	6,0	C
Braquiária	6,4	Aa	5,9	Ba	8,5	ABa	6,8	BC
Média	6,8	ns	8,5		7,5			
C.V. (%)	35,9							
10-20 cm								
Pousio	3,3	ns	3,3	ns	3,7	ns	3,4	B
Guandú	5,4		4,5		5,0		5,0	AB
Crotalária	4,6		6,0		8,5		6,4	A
Milheto	4,9		6,1		7,9		6,0	AB
Braquiária	8,3		4,4		6,1		6,4	A
Média	4,5	ns	5,4		6,3			
C.V. (%)	57,08							

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns= não significativo

Analisando-se o P inorgânico extraído por $NaHCO_3$ 0,5 mol L⁻¹ (Pi_{BIC}), fração considerada também lábil no solo, observa-se que na camada 0-5 cm também houve efeito de interação entre os fatores estudados (Tabela 10). Nesta camada os teores de Pi_{BIC} , quando

aplicado SFS, foram maiores com o cultivo de crotalária. Já com a aplicação de FNB e/ou sem adubação fosfatada não houve diferença nesta fração no solo em função das plantas de cobertura. Analisando-se o efeito das fontes na média das coberturas, verifica-se que o SFS resultou em maior teor de P nesta fração lábil Pi_{BIC} . Entre as fontes fosfatadas e plantas de cobertura, na camada 0-5 cm, crotalária com o SFS resultou em maior teor de P nas frações lábeis.

Tabela 10 - Teores médios de P inorgânico extraído com $NaHCO_3$ (Pi_{BIC}) em solo cultivado com plantas de cobertura submetidas à ausência de adubação fosfatada ou adubação com Fosfato Natural Bayóvar (FNB) ou Superfosfato Simples (SFS). Ano 2014

Plantas de Cobertura	Pi _{BIC}							
	Sem P		SFS		FNB		Média	
	-----mg kg ⁻¹ -----							
0-5 cm								
Pousio	17,0	Aa*	21,0	Ba	16,8	Aa	18,0	AB
Guandú	11,2	Aa	22,3	Ba	16,2	Aa	16,0	B
Crotalária	10,2	Ab	44,5	Aa	13,6	Ab	22,8	A
Milheto	9,8	Aa	15,7	Ba	10,7	Aa	12,0	B
Braquiária	10,2	Aa	16,6	Ba	11,7	Aa	12,8	B
Média	11,7	b	24,3	a	13,8	b		
C.V. (%)	44,9							
5-10 cm								
Pousio	9,8	ns	10,7	ns	11,2	ns	10,6	A
Guandú	7,6		10,7		7,6		8,6	AB
Crotalária	6,1		9,1		6,8		7,4	B
Milheto	6,9		7,8		7,2		7,3	B
Braquiária	4,5		7,5		10,3		7,4	B
Média	6,8	b	9,1	a	8,6	a		
C.V. (%)	32,8							
10-20 cm								
Pousio	5,9	ns	6,6	ns	6,0	ns	6,2	ns
Guandú	6,7		7,3		6,4		6,8	
Crotalária	5,6		6,8		7,1		6,5	
Milheto	6,8		6,3		5,5		6,2	
Braquiária	5,6		6,8		6,6		6,3	
Média	6,1	ns	6,7	ns	6,3	ns		
C.V. (%)	22,3							

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns= não significativo

Na camada 5-10 cm, a adubação tanto com SFS como com FNB resultaram em maior teor de Pi_{BIC} . Quanto às coberturas, o pousio resultou em maior Pi_{BIC} que qualquer uma das plantas utilizadas (Tabela 10). Na camada de 10-20 cm não foi detectada diferença

significativa entre os fatores em estudo. Isso pode ser atribuído à forma de aplicação dos fertilizantes (a lanço).

De modo geral, os teores de Pi_{BIC} foram maiores na camada de 0-5 cm, o que indica a contribuição da adubação fosfatada. Segundo Dobbermann et al. (2002) e Santos (2005), a adubação fosfatada é responsável pela alteração no Pi_{BIC} , onde as fontes solúveis tendem a aumentar mais em relação às fontes naturais. No presente estudo, esse efeito foi mais expressivo no cultivo de crotalária, sendo que as demais coberturas proporcionaram teores de Pi_{BIC} similares, independente do uso de fonte solúvel ou natural. Já na camada mais profunda 10-20 cm não houve efeito de plantas na fração Pi_{BIC} , sendo que o efeito das raízes das plantas de cobertura pode ser em maior proporção nas camadas mais superficiais, em função de acúmulo de resíduos na superfície.

Para os teores de P inorgânico extraídos com $NaOH\ 0,1\ mol\ L^{-1}$, na camada 0-5 cm não houve nenhum efeito dos fatores de estudo (Tabela 11). Na camada 5-10 cm o pousio proporcionou maior teor de $Pi_{NaOH\ 0,1}$ em comparação com às plantas de coberturas. Isso pode ser devido à adubação de ambas as fontes fosfatadas, FNB e SFS, serem prontamente convertidas em P insolúvel após reações no solo. No caso de solos ácidos, o P da solução é rapidamente adsorvido na superfície dos óxidos de Fe e Al, o que explica a grande concentração da fração de P extraída com $NaOH\ 0,1\ mol\ L^{-1}$ na parcela de pousio.

Para a camada 10-20 cm também não houve efeito dos fatores. De forma geral, o extrator $NaOH\ 0,1\ mol\ L^{-1}$ tem a capacidade de extrair formas de P inorgânico declaradas como de baixa disponibilidade para as plantas (ROBERTS; STEWART, 1987), que estão associados a fosfatos amorfos e cristalinos de Fe e de Al (WILLIAMS et al., 1980). Tal fração de Pi geralmente aumenta com a aplicação de fertilizantes fosfatados (GATIBONI et al., 2007; ROSOLEM et al., 2014). Segundo Pavinato et al. (2009), quando o fertilizante é aplicado ao solo, grande parte é adsorvido nestas frações moderadamente lábeis, e quase nada em frações não lábeis. Os resultados no presente estudo, entretanto, mostraram pouca ou nenhuma alteração do P nesta fração.

Tabela 11 - Teores médios de P inorgânico extraído com NaOH 0,1 mol L⁻¹ (Pi_{NaOH 0,1}) em solo cultivado com plantas de cobertura submetidas à ausência de adubação fosfatada ou adubação com Fosfato Natural Bayóvar (FNB) ou Superfosfato Simples (SFS). Ano 2014

Plantas de Cobertura	Pi NaOH 0,1							
	Sem P		SFS		FNB		Média	
-----mg kg ⁻¹ -----								
0-5 cm								
Pousio	44,3	ns	37,9	ns	43,8	ns	42,0	ns
Guandú	32,7		34,2		42,0		36,3	
Crotalária	32,9		29,6		31,1		31,2	
Milheto	29,8		32,1		46,7		36,2	
Braquiária	30,0		42,1		35,5		35,9	
Média	33,9	ns	35,2		39,8			
C.V. (%)	29,3							
5-10 cm								
Pousio	54,9	ns	54,0	ns	55,2	ns	54,7	A*
Guandú	44,3		52,2		56,2		50,9	AB
Crotalária	47,4		45,1		39,0		43,8	BC
Milheto	43,3		34,5		36,8		38,2	C
Braquiária	44,5		29,6		36,3		36,8	C
Média	46,9	ns	43,1		44,7			
C.V. (%)	42,6							
10-20 cm								
Pousio	27,2	ns	30,3	ns	27,2	ns	28,2	ns
Guandú	27,8		38,2		31,3		32,4	
Crotalária	27,5		30,0		28,2		28,6	
Milheto	35,8		30,0		30,9		32,3	
Braquiária	27,1		24,2		31,3		27,5	
Média	29,1	ns	30,5		29,8			
C.V. (%)	19,1							

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns= não significativo

A extração de P com HCl representa os fosfato de cálcio que podem ser fornecido a partir de minerais primários no solo (MAGID et al., 1996), e também pelo aplicação de fertilizantes fosfatados na forma de fosfatos naturais, sendo considerada esta fração como não disponível para a maioria das plantas (TIESSEN et al., 1984). Entretanto, em condições de acidez no solo, como no caso dos solos tropicais, os fosfatos de Ca podem ser considerados de moderada labilidade (GATIBONI, 2003; RODRIGUES, 2014).

Os resultados de P_{HCl} para fontes fosfatadas indicaram que o FNB incorporou maiores teores de P para as camadas 0-5 e 5-10 cm (Tabela 12). A presença de altos teores de P nas duas primeiras camadas, com FNB, resulta em concentração de P ligado a cálcio, pela maior quantidade de cálcio introduzido pelo fosfato natural reativo de Bayóvar, ou ainda ao próprio

fosfato de cálcio do fertilizante não solubilizado (BECH et al., 2010). Enquanto na camada de 10-20 cm não teve diferença entre as fontes.

Em relação às plantas de cobertura, não houve diferença para as camadas de 0-5 e 5-10 cm. Já na camada de 10-20 cm o guandú proporcionou mais P. No entanto, é difícil afirmar que isso foi resposta de planta, podendo ser relacionado a uma variação de amostragem e de análise laboratorial, visto que os efeitos não foram observados nas camadas mais superficiais (Tabela 12).

Tabela 12 - Teores médios de P inorgânico extraído com HCl mol L⁻¹ (P_{HCl}) em solo cultivado com plantas de cobertura submetidas à ausência de adubação fosfatada ou adubação com Fósforo Natural Bayóvar (FNB) ou Superfósforo Simples (SFS). Ano 2014

Plantas de Cobertura	P _{HCl}							
	Sem P		SFS		FNB		Média	
	-----mg kg ⁻¹ -----							
0-5 cm								
Pousio	6,0	ns	6,8	ns	26,2	ns	13,0	ns
Guandú	6,9		10,4		32,5		15,1	
Crotalária	6,6		11,9		20,5		13,0	
Milheto	8,0		6,6		24,7		13,1	
Braquiária	6,3		7,8		32,0		13,9	
Média	6,8	b	8,7	b	26,6	a		
C.V. (%)	56,6							
5-10 cm								
Pousio	8,9	ns	6,0	ns	10,7	ns	8,5	ns
Guandú	5,8		6,1		8,2		6,7	
Crotalária	6,3		8,3		6,7		7,1	
Milheto	7,4		5,4		6,7		6,5	
Braquiária	5,7		6,7		13,6		8,2	
Média	6,8	b	6,5	b	8,9	a		
C.V. (%)	42,9							
10-20 cm								
Pousio	2,8	ns	2,5	ns	4,4	ns	3,2	B*
Guandú	7,4		5,9		6,7		6,7	A
Crotalária	4,2		4,7		6,0		4,9	AB
Milheto	3,8		4,9		3,5		4,1	B
Braquiária	3,6		2,6		4,2		3,5	B
Média	4,4	ns	4,1		4,9			
C.V. (%)	55,9							

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns= não significativo

Os teores de P inorgânico extraídos com NaOH 0,5 mol L⁻¹ correspondem ao Pi ligados aos hidróxidos e argilominerais com alta energia de ligação e ao P fisicamente protegido no interior de microagregados (CONDRON; GOH; NEWMAN, 1985; CROSS; SCHLESINGER, 1995). Considera-se a esta fração de modo geral como P não Lábil, de difícil reversibilidade. Os resultados encontrados nesta fração estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Teores médios de P inorgânico extraído com NaOH 0,5 mol L⁻¹ (Pi_{NaOH 0,5}) em solo cultivado com plantas de cobertura submetidas à ausência de adubação fosfatada ou adubação com Fósforo Natural Bayóvar (FNB) ou Superfósforo Simples (SFS). Ano 2014

Plantas de Cobertura	Pi NaOH 0,5							
	Sem P		SFS		FNB		Média	
-----mg kg ⁻¹ -----								
0-5 cm								
Pousio	34,6	ns	55,5	ns	56,6	ns	48,9	C*
Guandú	47,8		44,0		57,6		49,8	C
Crotalária	54,0		51,8		69,2		58,3	BC
Milheto	49,6		69,6		83,2		67,5	AB
Braquiária	69,6		79,6		66,8		72,0	A
Média	51,1	b	60,1	ab	66,7	a		
C.V. (%)	25,3							
5-10 cm								
Pousio	61,8	ns	66,0	ns	56,4	ns	61,4	B
Guandú	88,2		66,3		79,6		78,0	A
Crotalária	78,4		80,5		86,1		81,7	A
Milheto	73,5		65,2		64,3		67,7	AB
Braquiária	71,8		66,5		41,7		60,0	B
Média	74,7	ns	68,9		65,6			
C.V. (%)	28,0							
10-20 cm								
Pousio	29,2	ns	31,5	ns	26,8	ns	29,2	A
Guandú	34,6		27,3		28,6		30,2	A
Crotalária	29,4		22,9		29,5		27,3	AB
Milheto	24,0		23,4		25,7		24,4	BC
Braquiária	23,4		19,7		24,5		22,5	C
Média	28,1	ns	24,9		27,0			
C.V. (%)	17,1							

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns= não significativo

Na camada 0-5 cm, o FNB proporcionou maior quantidade de P inorgânico extraído com NaOH 0,5 mol L⁻¹. As plantas de coberturas também tiveram efeito significativo nesta camada, onde a braquiária proporcionou o maior teor de P no solo. Na camada 5-10 cm, a crotalária e o guandú proporcionaram maiores teores de $P_{iNaOH\ 0,5}$. Já na camada mais profunda (10-20 cm) o guandú e o pousio apresentam os maiores teores. Assim, podem-se observar efeitos significativos das plantas de cobertura nesta fração, onde as mesmas alteraram esta fração de P por apresentarem sistemas radiculares diferenciados, essas características são fundamentais na solubilização do P do solo, principalmente o P que se encontra na forma não lábil.

4.5.2 Frações orgânicas

A fração de P orgânico extraído por NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ (P_{oBIC}) também é considerada P lábil no solo (GATIBONI et al., 2007). Na camada 0-5 cm os fatores em estudo não tiveram efeito significativo no teor de P_{oBIC} . Na camada de 5-10 cm foi possível observar que a crotalária apresentou maior teor de P_{oBIC} , não diferindo do guandú mas sendo superior às demais. Na camada de 10-20 cm, tanto a braquiária quanto o guandú resultaram em maior teor de P_{oBIC} , diferindo do pousio e das demais espécies (Tabela 14).

Crotalária e guandú, por apresentarem uma mineralização mais rápida da sua palhada, têm maior taxa de liberação de P, fornecendo de P orgânico no solo, menos susceptíveis às reações de adsorção. As plantas de coberturas mostraram influência no aumento médio do P orgânico nesta fração, podendo ser devido ao acúmulo de material orgânico no solo, adicionado pelas coberturas. Teles (2014) descreve que o aumento de P_{oBIC} na camada superficial poderia ser atribuído ao incremento de ciclagem de resíduos orgânicos no solo, adicionado pelas plantas. Isso também estaria associado com a biomassa microbiana do solo (CHEN et al., 2002; HELAL; SAUERBECK, 1984).

Tabela 14 - Teores médios de P orgânico extraído com NaHCO_3 (Po_{BIC}) em solo cultivado com plantas de cobertura submetidas à ausência de adubação fosfatada ou adubação com Fosfato Natural Bayóvar (FNB) ou Superfosfato Simples (SFS).
Ano 2014

Plantas de Cobertura	Po _{BIC}							
	Sem P		SFS		FNB		Média	
-----mg kg ⁻¹ -----								
0-5 cm								
Pousio	18,4	ns	24,3	ns	20,4	ns	21,0	ns
Guandú	18,0		20,1		67,6		36,6	
Crotalária	40,9		35,1		19,2		31,4	
Milheto	27,7		20,2		24,4		23,8	
Braquiária	23,0		34,3		24,3		27,6	
Média	25,6	ns	26,7		31,2			
C.V. (%)	101,3							
5-10 cm								
Pousio	22,3	ns	31,0	ns	21,9	ns	25,1	BC*
Guandú	28,4		33,6		33,5		32,1	AB
Crotalária	46,0		43,8		26,4		37,5	A
Milheto	29,8		26,0		25,0		26,9	B
Braquiária	20,3		20,4		8,1		16,3	C
Média	28,5	ns	30,3		22,9			
C.V. (%)	42,6							
10-20 cm								
Pousio	9,1	ns	12,4	ns	12,8	ns	11,4	B
Guandú	18,4		12,5		15,3		15,4	A
Crotalária	12,5		12,2		10,7		11,8	B
Milheto	12,7		11,8		11,1		11,9	B
Braquiária	19,1		15,3		13,2		15,9	A
Média	14,4	ns	12,8		12,7			
C.V. (%)	29,7							

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns= não significativo

Quanto aos teores de P orgânico extraídos com NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, na camada 0-5 cm o SFS proporcionou maior teor nesta fração, diferindo da média de FNB e controle (Tabela 15). Na camada de 5-10 cm o pousio proporcionou maior teor de $\text{Po}_{\text{NaOH } 0,1}$ em comparação com as plantas de cobertura, apresentando diferença significativa entre as coberturas, com destaque para o guandú. De modo geral, as fontes fosfatadas só influenciaram na camada 0-5 cm, com destaque para o SFS, e as plantas de cobertura somente afetaram na camada de 5-10 cm. Quando se avalia a média geral das camadas avaliadas, em 0-5 cm foram obtidos os maiores valores de $\text{Po}_{\text{NaOH } 0,1}$, possivelmente em consequência do retorno dos restos orgânicos ao solo, favorecido pelas plantas de cobertura e pelos anos de cultivo da área em questão, o que também é manifestado por Cosgrove (1977).

De forma geral, os resultados obtidos na fração extraída com NaOH 0,1 mol L⁻¹ foram muito pouco influenciados pelos tratamentos, mas esta fração é uma importante fonte de P para a absorção das culturas e contribui bastante para o crescimento vegetal, o aumento das médias dos teores de P observado em todas as camadas, pode indicar o efeito de resíduos orgânicos no solo. Segundo Tate e Salcedo (1988), esse reservatório é comportamento importante na ciclagem de P no solo.

Tabela 15 - Teores médios de P orgânico extraído com NaOH 0,1 mol L⁻¹ (Po_{NaOH 0,1}) em solo cultivado com plantas de cobertura submetidas à ausência de adubação fosfatada ou adubação com Fósforo Natural Bayóvar (FNB) ou Superfósforo Simples (SFS). Ano 2014

Plantas de Cobertura	Po _{NaOH 0,1}							
	Sem P		SFS		FNB		Média	
-----mg kg ⁻¹ -----								
0-5 cm								
Pousio	98,5	ns	126,0	ns	144,9	ns	123,1	ns
Guandú	111,1		156,1		65,6		115,0	
Crotalária	151,6		135,0		144,9		143,8	
Milheto	85,8		218,6		93,4		141,2	
Braquiária	96,9		203,7		147,0		144,2	
Média	109,9	b	165,9	a	123,6	b		
C.V. (%)	47,5							
5-10 cm								
Pousio	114,2	ns	127,6	ns	159,2	ns	135,5	A*
Guandú	153,8		119,6		60,8		112,2	AB
Crotalária	61,8		79,1		60,9		66,7	C
Milheto	59,2		95,3		60,8		71,8	C
Braquiária	97,5		71,5		60,6		76,5	BC
Média	93,2	ns	99,7		82,6			
C.V. (%)	49,0							
10-20 cm								
Pousio	39,3	ns	40,0	ns	32,3	ns	37,2	ns
Guandú	49,4		39,9		50,1		47,1	
Crotalária	39,2		26,4		47,3		37,6	
Milheto	28,8		28,9		34,2		30,6	
Braquiária	28,3		45,8		26,1		33,4	
Média	36,9	ns	35,9		37,9			
C.V. (%)	36,0							

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns= não significativo

O teor de P orgânico extraído com NaOH 0,5 mol L⁻¹ é considerado como um complemento da forma orgânica obtida pela extração de NaOH 0,1 mol L⁻¹ (HEDLEY et al., 1982). Esta fração é muito recalcitrante, com ação dos microrganismos muito baixa e pouco eficiente e, como consequência, se tem uma lenta mineralização (GATIBONI, 2003). Nesta fração não houve efeito das fontes fosfatadas em nenhuma das camadas. Efeito somente foi observado para as plantas de cobertura na camada 0-5 cm, sendo que o guandú proporcionou maior teor de P orgânico nesta fração, mas não diferiu do pousio (Tabela 16). Pode-se observar que P orgânico reduziu a medida das profundidades das camadas, indicando a mineralização de P orgânico nos compartimentos do solo. Esses maiores valores na camada 0-5 cm, pelo retorno de resíduos vegetais.

Tabela 16 - Teores médios de P orgânico extraído com NaOH 0,5 mol L⁻¹ (Po_{NaOH 0,5}) em solo cultivado com plantas de cobertura submetidas à ausência de adubação fosfatada ou adubação com Fosfato Natural Bayóvar (FNB) ou Superfosfato Simples (SFS). Ano 2014

Plantas de Cobertura	Po _{NaOH 0,5}							
	Sem P		SFS		FNB		Média	
-----mg kg ⁻¹ -----								
0-5 cm								
Pousio	150,1	ns	131,2	ns	95,1	ns	125,5	AB*
Guandú	145,7		87,4		160,4		131,2	A
Crotalária	97,3		89,8		100,8		95,5	BC
Milheto	104,2		88,6		158,3		117,1	AB
Braquiária	61,7		78,0		93,8		77,8	C
Média	111,8	ns	95,0		122,8			
C.V. (%)	35,6							
5-10 cm								
Pousio	129,4	ns	84,0	ns	97,7	ns	101,4	ns
Guandú	41,9		67,3		71,4		61,8	
Crotalária	139,5		52,3		99,6		97,1	
Milheto	43,2		117,4		73,2		77,9	
Braquiária	112,0		76,7		44,5		77,7	
Média	94,0	ns	79,5		77,3			
C.V. (%)	62,9							
10-20 cm								
Pousio	30,2	ns	32,1	ns	41,3	ns	34,6	ns
Guandú	36,6		42,7		53,1		44,2	
Crotalária	43,9		46,1		56,0		48,7	
Milheto	55,5		48,4		41,0		48,3	
Braquiária	43,7		94,8		56,8		65,1	
Média	42,0	ns	52,8		49,6			
C.V. (%)	51,1							

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns= não significativo

4.5.3 Fósforo residual e total do solo

A fração P residual é um P não disponível em condições de ambiente (SPIVAKOV, 1999), ou representa o P ocluso, retido fortemente nos argilominerais do solo, como hematita, goethita e gibbsita (SMECK, 1985). Portanto, o P residual pode apresentar P secundário e também P primário ocluso. É aquele P que não foi extraído pelos extratores anteriores, podendo ser considerada uma fração recalcitrante no solo.

Os resultados desta fração mostraram que, na camada de 0-5 cm, houve efeito de ambos os fatores. Quanto às fontes, o FNB e SFS proporcionaram maior teor de P_{Residual} , onde foi cultivada a braquiária. As plantas de cobertura que proporcionaram maior teor de P_{Residual} foram a braquiária e a crotalária (Tabela 17). Os maiores teores de P encontrados nesta camada com FNB e SFS se deram devido ao acúmulo de P provenientes dos fosfatos, principalmente de fosfato natural.

Na camada 5-10 cm houve efeito na interação dos fatores de estudo. Quando sem P (controle), o guandú e o milheto apresentaram maior P_{Residual} . Já onde foi aplicado SFS e FNB, a braquiária apresentou o maior teor com ambas as fontes. Não houve efeito entre os fatores na camada 10–20 cm. Na média dos teores de P_{Residual} houve aumento com a maior profundidade do solo avaliada, onde na camada 10-20 cm houve um aumento significativo comparado com 0-5 e 5-10 cm. As diferentes camadas avaliadas apresentam teores muito altos nesta fração P residual, que contribuem ao P total, isso normalmente acontece em solos muito intemperados, onde o P é retido pelas hematitas, goethitas e gibbsitas.

Tabela 17 - Teores médios de P_{Residual} em solo cultivado com plantas de cobertura submetidas à ausência de adubação fosfatada ou adubação com Fosfato Natural Bayóvar (FNB) ou Superfosfato Simples (SFS). Ano 2014

Plantas de Cobertura	P Residual						
	Sem P		SFS		FNB		Média
-----mg kg ⁻¹ -----							
0-5 cm							
Pousio	138,6	ns	144,3	ns	151,2	ns	144,7 C*
Guandú	145,9		170,1		168,2		161,4 BC
Crotalária	173,7		164,0		162,9		166,9 AB
Milheto	135,4		169,6		165,1		156,7 BC
Braquiária	166,7		187,2		186,2		180,0 A
Média	152,0	b	167,0	a	166,7	a	
C.V. (%)	12,8						
5-10 cm							
Pousio	166,2	Ba	175,8	Ba	169,2	Ba	170,4 C
Guandú	252,8	Aa	201,1	Bab	186,9	Bb	213,6 B
Crotalária	198,5	ABa	184,2	Ba	200,7	Ba	194,5 BC
Milheto	239,1	Aa	190,3	Ba	221,1	Ba	216,8 B
Braquiária	211,6	ABb	282,3	Aa	311,3	Aa	268,4 A
Média	213,6	ns	206,7		217,8		
C.V. (%)	21,2						
10-20 cm							
Pousio	272,4	ns	307,7	ns	271,0	ns	283,7 ns
Guandú	273,7		264,4		274,2		270,7
Crotalária	285,2		263,1		274,3		274,2
Milheto	267,6		291,0		280,1		279,6
Braquiária	278,0		291,5		285,8		285,1
Média	275,4	ns	283,5		277,1		
C.V. (%)	7,7						

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns= não significativo

O P total do solo foi determinado pela soma de todas as frações obtidas pelo fracionamento químico de Hedley. Não houve interações entre os fatores de estudo para os resultados do P total. Só na camada 0-5 cm a fonte fosfatada teve efeito, onde ambas as fontes, SFS e FNB, proporcionaram as maiores teores totais de P (Tabela 18). Esse era um resultado esperado, uma vez que a fonte aplicada foi bastante superior à extração pelas culturas. O teor de P total foi maior na camada superficial 0-5 cm, de modo geral, diminuindo gradativamente com a profundidade do solo. Esse incremento é atribuído aos fertilizantes aplicados ao longo do tempo de cultivo desta área, bem como às fontes utilizadas no estudo.

Tabela 18 - Teores médios de P_{Total} em solo cultivado com plantas de cobertura submetidas à ausência de adubação fosfatada ou adubação com Fósforo Natural Bayóvar (FNB) ou Superfósforo Simples (SFS). Ano 2014

Plantas de Cobertura	P _{Total}							
	Sem P		SFS		FNB		Média	
-----mg kg ⁻¹ -----								
0-5 cm								
Pousio	523,7	ns	561,4	ns	574,2	ns	553,1	ns
Guandú	529,2		554,8		602,5		562,1	
Crotalária	576,3		583,6		550,2		570,0	
Milheto	434,1		633,1		594,0		553,7	
Braquiária	465,5		616,0		603,4		561,6	
Média	505,8	b	589,8	a	584,8	a		
C.V. (%)	15,5							
5-10 cm								
Pousio	512,2	ns	563,2	ns	591,2	ns	555,5	ns
Guandú	573,5		568,1		496,0		545,9	
Crotalária	578,9		481,0		537,5		532,5	
Milheto	508,8		547,7		500,8		519,1	
Braquiária	574,4		567,0		529,3		556,9	
Média	549,5	ns	545,4		530,9			
C.V. (%)	12,4							
10-20 cm								
Pousio	418,5	ns	466,4	ns	425,6	ns	436,8	ns
Guandú	460,1		432,7		470,6		454,4	
Crotalária	452,1		418,2		467,4		445,9	
Milheto	463,7		448,0		440,1		450,6	
Braquiária	437,2		500,1		454,5		464,0	
Média	446,3	ns	453,0		451,6			
C.V. (%)	8,9							

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade. ns= não significativo

5 CONCLUSÕES

A colonização radicular foi mais influenciada nas épocas chuvosas. A presença das plantas de cobertura proporcionou maior colonização micorrízica e densidade de esporos na época chuvosa. As aplicações de fontes fosfatadas não influenciam a densidade dos esporos, enquanto que as plantas de cobertura, principalmente guandú e braquiária, apresentaram aumento no número de esporos.

Apesar de não aumentar as frações lábeis do P no solo, a utilização de plantas de cobertura proporcionou maior ciclagem do nutriente.

Os fosfatos não influenciaram a massa seca nem o acúmulo de P, sendo que houveram efeitos das plantas de cobertura na massa seca e no acúmulo de P na parte aérea, com destaque para o milheto e braquiária.

REFERÊNCIAS

- AE, N.; ARIHARA, J.; OKADA, K. Phosphorus uptake mechanisms of pigeon pea grown in Alfisols and Vertisols. In: JOHANSEN, C.; LEE, K.K.; SAHRAWAT, K.L. **Phosphorus nutrition in grain legumes in the semi-arid tropics**. Patancheru: ICRISAT, 1991. p. 91–98.
- AFEK, U.; RINALDELLI, E.; MENGE, J.A.; JOHNSON, E.L.V.; POND, E. Mycorrhizal inoculum influence colonization of cotton, onion and pepper seedlings. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 115, n. 6, p. 938-942, 1990.
- ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, A.L.; FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C.; PASSOS, J.F.M. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um latossolo Bruno Alumínico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 963-975, 2005.
- ALCÂNTARA, F.A. de; FURTINI NETO, A.E.; DE PAULA, M.B.; MESQUITA, H.A. de; MUNIZ, J.A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 277-288, 2000.
- ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M. da; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 175-185, 1995.
- ANGELINI, G.A.R.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; TORRES, J.L.R.; JÚNIOR, O.J.S. Colonização micorrízica, densidade de esporos e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solos de Cerrado sob plantio direto e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 115-130, 2012.
- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 115-123, 2004.
- BARROW, N.J. A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 34, p. 733-750, 1983.
- BÉCARD, G.; PICHÉ, Y. Fungal growth by CO₂ and roots exudates in vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 55, p. 2320-2325, 1989.
- BECH, J.; SUAREZ, M.; REVERTER, F.; TUME, P.; SÁNCHEZ, P.; BECH, J.; LANSAC, A. Selenium and other trace elements in phosphate rock of Bayóvar Sechura (Peru). **Journal of Geochemical Exploration**, Virginia, v. 107, p. 136-145, 2010.
- BERBARA, R.L.L.; SOUZA, F.A.; FONSECA, H.M.A.C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDEZ, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53-58.
- BIELESKI, R.L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 24, p. 225-252, 1973.

BOLAN, N.S.; WHITE, RE.; HEDLEY, M.J. A review of the use of phosphate rocks as fertilizers for direct application in Australia and New Zealand. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 30, p. 297-313, 1990.

BOLLAND, M.D.A. Residual value for wheat of phosphorus from calciphos. Duchess rock phosphate and triple superphosphate on a lateritic soil in South-western Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 25, p. 198-208, 1985.

BOLLAND, M.D.A.; BOWDEN, J.W. Long-term availability of phosphorus from calcined rock phosphate compared with superphosphate. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 33, p. 1061-1071, 1982.

BOLLAND, M.D.A.; SIDDIQUE, K.H.M.; LOSS, S.P.; BARKER, M.J. Comparing responses of grain legumes, wheat and canola to application of superphosphate. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, Dordrecht, v. 53, p.157-175, 1999.

BRESSAN, W.; SIQUEIRA, J.O.; VASCONCELLOS, C.A.; PURCINO, A.A.C. Fungos micorrízicos e fósforo, crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 2, p. 315-323, 2001.

BRUNDRETT, M.C. Mycorrhizal associations and others means of nutrition of vascular plants: Understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 320, p. 37-77, 2009.

BUCHER, M. Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces. **New Phytologist**, Cambridge, v. 173, p. 11-26, 2007.

BUERKERT, A.; STERN, R.D.; MARSCHNER, H. Post stratification clarifies treatment effects on Pearl millet growth in the Sahel. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, p. 752-761, 1995.

BULL, L.T.; FORLI, F.; TECCHIO, M.A.; CORREA, J.C. Relação entre fósforo extraído por resina e resposta da cultura do alho vernalizado à adubação fosfatada em cinco solos com e sem adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 459-470, 1998.

CAIONE, G. Fontes de fósforo em variedades de cana-de-açúcar forrageira. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 66-73, 2011.

CALEGARI, A.; ALEXANDER, I. The effects of tillage and cover crops on some chemical properties of an oxisol and summer crop yields in south western. **Advances Geocos**, Paraná, v. 31, p. 1239-1246, 1998.

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**. Brasília: EMBRAPA, 2006. v. 1, p. 143-170.

CARVALHO, A.M. de; SOUZA, L.L.P. de; GUIMARAES JÚNIOR, R.; ALVES, P.C.A.C.; VIVALDI, J.L. Cover plants with potencial use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 1200-1205, 2011.

CARVALHO, M.A.C. **Adubação verde e sucessão de culturas em semeadura direta e convencional em Selvíria, M.S.** 2000. 189 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2000.

CELI, L.; LAMACCHIA, S.; AJMONE-MARSAN, F.; BARBERIS, E. Interaction of inositol hexaphosphate on clays: adsorption and charging phenomena. **Soil Science**, Baltimore, v. 164, p. 574–585, 1999.

CHAVES DE OLIVEIRA, P.; REIS DE CARVALHO, J.C. Rizosferas de árvores acumuladoras de fósforo na Amazônia Brasileira. **Universitas Scientiarum**, Bogotá, v. 16, n. 2, p. 111-118, 2011.

CHEN, C.R.; CONDRON, L.M.; DAVIS, M.R.; CHERLOCK, R.R. Phosphorus dynamics in the rhizosphere of perennial ryegrass (*Lolium perene* L.) and radiate pine (*Pinus radiata* D. Don.). **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 34, p. 487-499, 2002.

CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, Ithaca, v. 41, p.227-234, 1995.

COLLOZI-FILHO, A.; BALOTA, E. L. Potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com cafeeiro e leguminosas de verão. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 5., 1994, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1994. p. 17.

CONDRON, L.; GOH, K.; NEWMAN, R. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by ³¹P nuclear magnetic resonance analysis. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 36, n. 2, p. 199-207, 1985.

CONDRON, L.M.; TURNER, B.L.; CADE-MENUN, B.J. Chemistry and dynamics of soil organic phosphorus. In: SIMS J.T.; SHARPLEY, N.A. (Ed.). **Phosphorus: agriculture and the environment**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America Journal, 2005. p. 87-121.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida pela aplicação de fosfato em solos no Sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 925-930, 2002.

CÓRDOBA, A.S.; MENDONÇA, M.M.; ARAÚJO, E.F. Avaliação da diversidade genética de fungos micorrízicos arbusculares em três estádios de estabilização de dunas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 931-937, 2002.

COSGROVE, D.J. Microbial transformations in the phosphorus cycle. In: ALEXANDRE, M. (Ed.). **Advances in microbial ecology**, New York: Plenum, 1977. v. 1, p. 95-135.

- CROSS, A.F.; SCHLESINGER, W.H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, Amsterdam, v. 64, n. 3, p. 197-214, 1995.
- DICK, W.A.; TABATABAI, M.A. Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 6, p. 82-85, 1977.
- DOBERMANN, A.; GEORGE, T.; THEVS, N. Phosphorus fertilizer effects on soil phosphorus pools in acid upland soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, p. 652-660, 2002.
- DREW, M.C.; NYE, P.H. The supply of nutrient ions by diffusion to plant roots in soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 33, p. 545-563, 1970.
- DUPUTEL, M.; DEVAU, N.; BROSSARD, M.; BROSSARD, M.; JAILLARD, B.; HINSINGER, P.; GÉRARD, F. Citrate adsorption can decrease soluble phosphorus concentration in soils: result theoretical modeling, **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 35, p. 120-131, 2013.
- EOM, A.H.; HARTNETT, D.C.; WILSON, G.W.T. Host plant species effects on arbuscular mycorrhizal fungal communities in tallgrass prairie. **Oecologia**, Berlin, v. 122, p. 435-444, 2000.
- FAGERIA, N.K. Green manure in crop production. **Journal of Plant Nutrition**, Rostock, v. 30, p. 691-719, 2007.
- FEDDERMANN, N.; FINLAY, R.; BOLLER, T.; ELFSTRAND, M. Functional diversity in arbuscular mycorrhizal the role of gene expression, phosphorus nutrition and symbiotic efficiency. **Fungal Ecology**, Oxford, v. 3, p. 1-8, 2010.
- FOLONI, J.S.S.; TIRITAN, C.S.; CALONEGO, J.C.; ALVES JUNIOR, J. Aplicação de fosfato natural e ciclagem de fósforo por milheto, braquiária, milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1147-155, 2008.
- GARBAYE, J. Helper bacteria, a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. **New Phytologist**, Cambridge, v. 128, p. 197-210, 1994.
- GATIBONI, L.C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 231 p. Tese (Doutorado em Biodinâmica dos Solos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.
- GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, L.; RHEINHEIMER, D.S.; FLORES, J.P.C. Bioavailability of soil phosphorus forms in no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 691-699, 2007.
- 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**, London, v. 46, p. 235-244, 1963.

GHOSAL, P.K.; CHAKRABORTY, T.; BHATTACHARYA, B.; BAGCHI, D.K. Relative agronomic effectiveness of phosphate rocks and P adsorption characteristics of an Oxic Rhodustalf in Eastern India. **Journal of Plant Nutrition Soil Science**, Rostock, v. 166, p. 750-155, 2003.

GIAVENO, C.; CELI, L.; RICHARDSON, A.E.; SIMPSON, R.J.; BARBERISA, E. Interaction of phytases with minerals and availability of substrate affect the hydrolysis of inositol phosphates. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 3, p. 491–498, 2010.

GIOVANNETTI, M.; AVIO, L. Biotechnology of arbuscular mycorrhizas. In: KHACHATOURIANS, G.G.; ARONA, E.; DILIP, K. (Ed.). **Applied mycology and biotechnology**. Amsterdam: Elsevier, 2002. p. 275-310. (Agriculture and Food Production, 2).

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, Oxford, v. 84, p. 489-500, 1980.

GOMES, L.H.; CECATO, U.; ÍTAVO, C.V. Avaliação de cultivares do género *Cynodon* sob dois níveis de adubação nitrogenada. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 1997, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: SBZ, 1997. p. 33-35.

GUADARRAMA, P.; ÁLVAREZ-SANCHEZ, F.J. Abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores in diferente environments in a tropical rain forest. **Mycorrhiza**, New York, v. 8, p. 267-270, 1999.

GUEDES, E.M.S. Fosfato natural de arad e calagem e o crescimento da *Brachiária brizantha* em Latossolo amarelo sob pastagem degradada na Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 52, p. 117-129, 2009.

GUERRERO, E. **Micorrizas, recurso biológico del suelo**. Bogotá: Fondo FEN de Colombia, 1996. 208 p.

GUIMARÃES JÚNIOR, R. **Silagem de milheto: uma opção alimentar para ruminantes**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2003, 4, p.

HAMMOND L.L.; LEÓN, L.A. Evaluación del fosfato natural de Carolina del Norte como un fertilizante fosfatado. **Suelos Ecuatoriales**, Medellín, v. 22, n. 1, p. 143-150, 1992.

HANSEN J.C.; CADE-MENUN, B.J.; STRAWN, D.G. Phosphorus speciation in manure-amended alkaline soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 33, p. 1521-1527, 2004.

HARRISON, A.F. **Soil organic phosphorus: a review of world literature**. Wallingford; Oxon: CAB International, 1987. 257 p.

HARRISON, M.J. Signalling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Annual Review of Microbiology**, Palo Alto, v. 59, p. 19-42, 2005.

HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B.; CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil-phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 5, p. 970-976, 1982.

HELAL, H.M.; SAUERBECK, D.R. Influence of plant roots on C and P metabolism in soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 76, p. 175-182, 1984.

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 237, p. 173-195, 2001.

HOCKING, P.J.; KEERTHISINGHE, G.; SMITH, F.W.; RANDALL, P.J. Comparison of the ability of different crop species to assess poorly available soil phosphorus, In: ANDO, P.; FUJITA, K.; MAE, T.; MATSUMOTO, H.; MORI, S.; SEKIYA, J. (Ed.). **Plant nutrition for sustainable food production and environment**. Tokio: Kluwer, 1997. p. 305-308.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais, In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, nº 101, 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba; POTAFOS; ANDA, 200. 1 CD-ROM.

JOHNSON, N.C.; PFLEGER, F.L. Vesicular arbuscular mycorrhizae and cultural stresses. In: BETHLENFALVAY, G.J.; LINDERMAN, R.G. (Ed.). **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Madison: ASA, 1992. p. 71-97.

KABIR, Z.; KOIDE, R.T. The effect of dandelion as a cover crop on mycorrhiza inoculum potential, soil aggregation and yield of maize. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 78, p. 167-174, 2000.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia dos fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1997. 31 p.

KIRK, G.J.D.; SANTOS, E.E.; SANTOS, M.B. Phosphate solubilization by organic anion excretion from rice growing in aerobic soil: Rates of excretion and decomposition, effects on rhizosphere pH and effects on phosphate solubility and uptake. **New Phytologist**, Cambridge, v. 142, p. 185-200, 2000.

KLIEMANN, H.J.; LIMA, D.V. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais e sua influência no fósforo disponível em dois solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 111-119, 2001.

KORNDORFER, G.H.; LARA-CABEZAS, W.A.; HOROWITZ, N. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, p. 391-396, 1999.

LAMBAIS, M.R.; CARDOSO, E.J.B.N. Response of *Stylosanthes guianensis* to endomycorrhizal fungi inoculation as affected by lime and phosphorus applications. II. Nutrient uptake. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 150, p. 109-116, 1993.

LANA, R.M.Q.; ZANAO JUNIOR, L.A.; LUZ, J.M.Q.; SILVA, J.C. Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de cerrado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 525-528, 2004.

LANA, R.M.Q.; ZANAO JUNIOR, L.A.; CORREIA, N.M.; LANA, A.M.Q. Variabilidade entre genótipos de feijoeiro na eficiência no uso do fósforo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3 p. 778-784, 2006.

LEWIS, D.G.; QUIRK, J.P. Diffusion of phosphate to plant roots. **Nature**, London, v. 205, p. 765-766, 1965.

LIMA, S.O.; FIDELIS, R.R.; COSTA, S.J. Avaliação de fontes e doses de fósforo no estabelecimento da *Brachiaria brizantha* cv. marandu no sul do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 100-105, 2007.

LOVELOCK, C.E.; WRIGHT, S.F.; CLARK, D.A.; RUESS, R.W. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. **Journal of Ecology**, Malden, v. 92, p. 278-287, 2004.

LUCA, E.F.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; CHITOLINA, J.C. Eficiência de absorção e utilização de fósforo (³²P) por mudas de eucalipto e arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 543-547, 2002.

MACIEL, G.A.; COSTA, S.E.G.V.A.; FURTINI, NETO, A.E.; FERREIRA, M.M.; EVANGELISTA, A.R. Efeito de diferentes fontes de fósforo na *Brachiaria brizantha* cv. capim-Marandu cultivada em dois tipos de solos. **Ciência Animal Brasileira**, Goiás, v. 8, n. 2, p. 227-233, 2007.

MAGID, J.; TIESSEN, H.; CONDRON, L.M. Dynamics of organic phosphorus in soils under natural and agricultural ecosystems. In: PICCOLO, A. (Ed.). **Humic substances**. Amsterdam: Elsevier Science, 1996. p. 429-466.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 649 p.

_____. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego, Academic Press, 1995. 889 p.

MARSCHNER, H.; MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. Viena: Academic Press, 2012. 645 p.

MARTÍN, G.M.; RIVERA, R.; ARIAS, L.Y.; RENTERIA, M. Inoculación de una cepa de HMA en la canavalia y su efecto residual en el cultivo de maíz. In: CONGRESO CIENTÍFICO DEL INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIAS AGRÍCOLAS, 16., 2008, La Habana. **Memorias...** La Habana: INCA, 2008. 1 CD-ROM.

MARTINAZZO, R. Fósforo microbiano do solo sob Sistema plantio direto afetado pela adição de fósforo solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 563-568, 2007.

MIRANDA, J.C.C. Ocorrência de fungos endomicorrízicos nativos em solos de cerrado do Distrito Federal e sua influência na absorção de fósforo por *Braquiaria decumbens* Stapf. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 6, p. 19-23, 1982.

_____. **Cerrado: micorriza arbuscular, ocorrência e manejo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 169 p.

MIRANDA, J.C.C. MIRANDA, L.N. Micorriza arbuscular. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 69-123.

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

MOLTOCARO, R.C.R. **Guandu e micorriza no aproveitamento do fosfato natural pelo arroz em condições da casa-de-vegetação**. 2007. 65 p. Dissertação (Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2007.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 729 p.

MOSSE, B. Observations on the extra-matrical mycelium of vesicular-arbuscular endophyte, **Transactions of the British Mycological Society**, London, v. 42, p. 439-448, 1959.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 27, p. 31-36, 1962.

NARUZZAMAN, M.; LAMBERS, H.; BOLLAND, M.D.A.; VENEKLASS, E.J. Distribution of carboxylates and acid phosphatase and depletion of different phosphorus fractions in the rhizosphere of a cereal and three grain legumes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 281, p. 109-120, 2006.

NEWSHAM, K.K.; FITTER, A.H.; WATKINSON, A.R. Multifunctionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas, **Trends in Ecology and Evolution**, London, v. 10, p. 407-411, 1995.

NICOLSON, T.H. Mycorrhiza in the gramineae, I, Vesicular-arbuscular Endophytes with Special reference to the external phase. **Transactions of the British Mycological Society**, London, v. 42, p. 421-438, 1959.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F. N. Fósforo, In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2007. p. 471-550.

NOGUEIRA, M.A.; CARDOSO, E.J.B.N. Produção de micélio externo por fungos micorrízicos arbusculares e crescimento da soja em função de doses de fosforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 329-338, 2000.

OEHL, F.; SILVA, G.A.; GOTO, B.T.; SIEVERDING, E. Glomeromycota: three new genera and glomoid species reorganized. **Mycotaxon**, Ithaca, v. 116, p. 75-120, 2011.

OELKERS, E.H.; VALSAMI-JONES, E. Phosphate mineral reactivity and global sustainability. **Elements**, Chantilly, v. 4, p. 83-87, 2008.

OLIBONE, D.; ROSOLEM, C.A. Phosphate fertilization and phosphorus forms in an Oxisol under no-till. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 4, p. 465-471, 2010.

OLIVEIRA, A.N.; OLIVEIRA, L.A.; MOREIRA, F.W. Micorrizas arbusculares em cupuaçu e guaraná de um Sistema agroflorestal de terra firme no Município de Manaus, AM. In: FERTBIO, 7, 1998, Caxumbú. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Microbiologia, 1998. p. 617.

OLIVEIRA, T.K.; CARVALHO, G.J.; MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1079-1087, 2002.

OTANI, F.; AE, N.; TANAKA, H. Uptake mechanisms of crops grown in soils with low P status. II. Significance of organic acids in root exudates of pigeon pea. **Soil Science and Plant Nutrition**, Oxon, v. 42, p. 533-560, 1996.

PARFITT, R.L. Phosphate reactions with nature allophone, ferrihydrite and goethite. **Journal of Soil Science**, London, v. 40, p. 359-369, 1989.

PAVINATO, P.S.; DAO, T.H.; ROSOLEM, C.A. Tillage and phosphorus management effects on enzyme-labile bioactive phosphorus availability in Cerrado Oxisols. **Geoderma**, Amsterdam, v.156, n. 3/4, p. 207-215, 2010.

PAVINATO, P.S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C.A. Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soil as affected by tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 105 p. 149-155, 2009.

PEARSE, S.J.; VENEKLAAS, E.J.; CAWTHRAY, G.R.; BOLLAND, M.D.A.; LAMBERS, H. Carboxylate release of wheat, canola and 11 grain legume species as affected by phosphorus status. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 288, p.127-139, 2006a.

_____. *Triticum aestivum* shows a greater biomass response to a supply of aluminium phosphate than *Lupinus albus*, despite releasing fewer carboxylates in to the rhizosphere. **New Phytologist**, Hoboken, v. 169, p. 515-524, 2006b.

PERUZZO, G.; PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Avaliação da eficiência agronômica dos fosfatos naturais reativos de Arad e de Gafsa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.

PIERZYNSKI, G.M.; McDOWELL, R.W.; SIMS, J.T. **Chemistry, cycling, and potential moment of organic phosphorus in soils**. 2005, n. 46, p. 53-86. In: SIMS, J.T.; Sharpley, A.N. (ed.). Phosphorus, Agriculture and the Environment. Monograph no 46. Soil Science Society of America. Madison, WI.

PITOL, C.O. Milheto na integração agricultura – pecuária. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 76, p. 8-9, 1996.

PROCHNOW, L.I.; ALCARDE, J.C.; CHIEN, S.H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 605-663.

PROCHNOW, L.S.; FRANCISCO, J.F. B.; BRAGA, E.A.G. Effectiveness of phosphate fertilizers of different water solubilities in relation to soil phosphorus adsorption. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 333-340, 2006.

PURIN, S. **Fungos micorrízicos arbusculares**: atividades, diversidade e aspectos funcionais em sistemas de produção de maçãs. 2005. 182 p. Dissertação (Mestrado Ciência do solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2005.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**, Piracicaba: Ceres; POTAFOS, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2010.

RHEINHEIMER, D.S. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 589-597, 2000.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 151-160, 2001.

_____. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 34, n. 15/16, p. 2339-2354, 2003.

RICHARDSON, A.E.; BAREA, J.M. McNIEL, A.M. Prigent-combaret C. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 321, p. 305-339, 2009.

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A.; SCHMIDT, W.S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 233, p. 167-177, 2001.

ROBERTS, T.L.; STEWART, J. W.B. Update of residual fertilizer phosphorus in western Canadian soils. **Saskatchewan Institute of Pedology**, Saskatoon, v. 523, p. 1-15, 1987.

RODRIGUES, M. **Sistemas de manejo e a dinâmica das formas de fósforo e da fertilidade em solos de Cerrado**. 2014. 76 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

ROSOLEM, C.A.; MERLIM, A.; LONGO, J.C. Soil phosphorus dynamics as affected by Congo grass and P fertilizer. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 4, p. 309-315, 2014.

SANTOS, D.R. Fatores que afetam a disponibilidade do fosforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2013. 353 p.

SANTOS, I.P.A.; PINTO, J.C.; SIQUEIRA, J.O.; MORAIS, A.R.; CURI, N.; EVANGELISTA, A.R. Resposta a fósforo, micorriza e nitrogênio de braquiário e amendoim forrageiro consorciados. 1. Rendimentos de matéria seca da parte aérea e da raiz. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 25, n. 5, p. 1206-1215, 2001.

SANTOS, J.Z.L. **Frações de fósforo em solo da região do Cerrado, adubos com fosfato em diferentes modos de aplicação e cultivo com milho**, 2005. 65 p. (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT software version 9.2**. Cary, 2008.

SCHEUBLIN, T.R.; RIDGWAY, K.P.; YOUNG, J.P.W.; van der HEIJDEN, M.G.A. Nonlegumes, legumes, and root nodules harbor different arbuscular mycorrhizal fungal communities. **Applied and Environmental Microbiology**, Baltimore, v. 70, p. 6240–6246, 2004.

SCHWAB, S.M.; MENGE, J.Á.; TINKER, P.B. Regulation of nutrient transfer between host and fungus in vesicular-arbuscular mycorrhizas. **New Phytologist**, Oxford, v. 177, p. 387-398, 1991.

SILVA, F.N.; FURTINI NETO, A.E.; CARNEIRO, L.F.; MAGALHÃES, C.A.S.; CARNEIRO, D.N.M. Crescimento e produção de grãos da soja sob diferentes doses e fontes de fósforo em solos distintos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1220-1227, 2009.

SIQUEIRA, J.O.; NAIR, M.G.; HAMMERSCHMIDT, R. SAFIR, G.R. Significance of phenolic compounds in plant-soil-microbial systems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 10 n. 1, p. 63-121, 1991.

SKERMAN, P.J.; RIVEROS, F. **Gramíneas tropicais**. Roma: FAO, 1992. 849 p.

SMECK, N.E. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 36, n. 2, p. 185-189, 1985.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3rd ed. New York: Elsevier; Academic, 2008. 800 p.

SMITH, S.E.; FACELLI, E.; POPE, S.; SMITH, F.A. Plant permormance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 326, p. 3-20, 2010.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Lime and fertilizers for annual and perennial species. In: _____. (Ed.). **Cerrado: soil liming and fertilization**. 2nd ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p. 283-316.

SOUSA, D.M.G., REIN, T.A.; LOBATO, E. Solubilidade e eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos avaliados com a cultura da soja em um Latossolo de Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SAVANAS TROPICAIS, 2., 2008, Brasília, 2008. **Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais: anais...** Planaltina, Embrapa Cerrados, 2008. 1 CD ROM.

SPERA, S.T.; CORREIA, J.R.; REATTO, A. Solos do bioma Cerrado: propriedades químicas e físico-hídricas sob uso e manejo de adubos verdes. In: CARVALHO, A.M. de; AMABILE, R.F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006. p. 41-70.

SPIVAKOV, B.Y.A.; MARYTINA, T.A.; MUNTAU, H. Phosphorus speciation in water and sediments. **Pure and Applied Chemistry**, London, v. 71, p. 2161-2176, 1999.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989. 345 p.

STADDON, P.L.; THOMPSON, K.; JAKOBSEN, I.; GRIME, J.P.; ASKW, A.P.; FITTER, A.H. Mycorrhizal fungal abundance as affected by long-term climatic manipulations in the field. **Global Change Biology**, Malden, v. 9, p. 186-194, 2003.

SUBBARAO, G.V.; AE, N.; OTANI, T. Genotypic variation in the iron- and aluminium-phosphate solublising activity of pigeon pea root exudates under P deficient conditions. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 43, p. 295-305, 1997.

SUZUKI, L.E.A.; ALVES, M.C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 121-127, 2006.

TANG, C.; FRANG, R.Y.; RAPHAEL, C. Factor affecting soil acidification under legumes: II, Effects of phosphorus supply. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 49, p. 657-664, 1998.

TATE, K.R.; SALCEDO, I.H. Phosphorus control of soil organic matter accumulation and cycling. **Biogeochemistry**, Dorchecht, v. 5, p. 99-107, 1988.

TELES, A.P. **Influência de plantas de cobertura e fertilizantes fosfatados nas frações de fósforo e nos atributos químicos do solo.** 2014. 76 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

TIECHER, T.; RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; CALEGARI, A. Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 271–281, 2012.

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

TISDALL, J.M. Possible role of soil micro-organisms in aggregation in soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 159, p. 115-121. 1994.

TUNER, B.L.; PAPHÁZY, M.J.; HAYGARTH, P.M.; MCKELVIE, I.D. Inositol phosphates in the environment. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, v. 357, p. 449-469, 2002.

TURNER, B.L.; RICHARDSON, A.E.; MULLANEY, E.J. **Inositol phosphates: linking agriculture and the environment.** Wallingford: CAB International, 2007. 304 p.

VANDENKOORNHUYSE, P.; RIDGWAY, K.P.; WATSON, I.J.; FITTER, A.H.; YOUNG, J.P.W. Co-existing grass species have distinctive arbuscular mycorrhizal communities. **Molecular Ecology**, Hoboken, v. 12, p. 3085-3095, 2003.

VANDENKOORNHUYSE, P.; HUSBAND, R.; DANIELL, T.J.; WATSON, I.J.; DUCK, J.M.; FITTER, A.H.; YOUNG, J.P.W. Arbuscular mycorrhizal community composition associated with two plant species in a grassland ecosystem. **Molecular Ecology**, Hoboken, v. 11, p. 1555-1564, 2002.

VERONESE, M.; FRANCISCO, E.E.B.; ZANCANARO, L.; ROSOLEM, C.A. Plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 8, p. 1158-1165, 2012.

VIERHEILIG, H.; COUGHLAN, A.P.; WYSS, U.; PICHÈ, Y. Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. **Applied & Environmental Microbiology**, Baltimore, v. 64, p. 5004-5007, 1998.

VITTI, G.C.; WIT, A.; FERNANDES, B.E.P. Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos. In: SIMPÓSIO FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 95, 2003, São Pedro. **Anais...** São Pedro: POTAFOS; ANDA, 2003. p. 64-70.

WALKER, T.W.; SYERS, J.K. The fate of phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 15, p. 1-19, 1976.

WANG, X.; SHEN, J.; LIAO, H. Acquisition or utilization, which is more critical for enhancing phosphorus efficiency in modern crops. **Plant Sciences**, Limerick, v. 179, n. 4, p. 302-306, 2010.

WILLIAMS, J.D.H.; MAYER, T.; NRIAGU, J.O. Extractability of phosphorus minerals common in soils and sediments. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 3, p. 462-465, 1980.

XIONG, L.M.; FARDEAU, J.C.; FENG, G.L. Isotopic assessment of soil phosphorus fertility and evaluation of rock phosphates as phosphorus sources for plants in subtropical China. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 63, n. 1, p. 91-98, 2002.

YONEYAMA, K.; XIE, X.; KUSUMOTO, D.; SEKIMOTO, H.; SUGIMOTO, Y.; TAKEUCHI, Y.; YONEYAMA, K. Nitrogen deficiency as well as phosphorus deficiency in sorghum promotes the production and exudation of 5-deoxystrigol, the host recognition signal for arbuscular mycorrhizal fungi and root parasites. **Planta**, New York, v. 227, p. 125-132, 2007.

ZHANG, H.; HUANG, Y.; YE, X.; SHI, L.; XU, F. Genotypic differences in phosphorus acquisition and the rhizosphere properties of *Brassica napus* in response to low phosphorus stress. **Plant and Soil**, The Hague, v. 320, n. 1, p. 91-102, 2009.

ZHU, Y.G.; MILLER, R.M. Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil-plant systems. **Trends in Plant Science**, London, v. 8, p. 407-409, 2003.