



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
Campus de Ilha Solteira

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**PLANTAS DE COBERTURA E DOSES DE FÓSFORO SOBRE OS  
ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO**

**MARCELO FERNANDO PEREIRA SOUZA**  
Engenheiro Agrônomo e Biólogo

Orientadora: Profa. **Dra. Ana Maria Rodrigues Cassiolato**

Ilha Solteira – SP  
2012



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
Campus de Ilha Solteira

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**PLANTAS DE COBERTURA E DOSES DE FÓSFORO SOBRE OS ATRIBUTOS  
QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO**

**MARCELO FERNANDO PEREIRA SOUZA**

**Orientador:** Profa. Dra. Ana Maria Rodrigues Cassiolato

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

Ilha Solteira – SP  
Maio/2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação

S714p| Pereira Souza, Marcelo Fernando.  
Plantas de cobertura e doses de fósforo sobre os atributos químicos e biológicos do solo / Marcelo Fernando Pereira Souza. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2012  
87 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Agronomia, 2012

Orientador: Ana Maria Rodrigues Cassiolat  
Inclui bibliografia

1. Biomassa microbiana. 2. Adubação verde. 4. Cerrados. 5. Plantio direto.


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

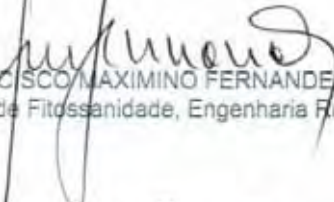
TÍTULO: Plantas de cobertura e doses de fósforo sobre os atributos químicos e biológicos do solo

AUTOR: MARCELO FERNANDO PEREIRA SOUZA

ORIENTADORA: Profa. Dra. ANA MARIA RODRIGUES CASSIOLATO

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

  
Profa. Dra. ANA MARIA RODRIGUES CASSIOLATO  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Prof. Dr. FRANCISCO MAXIMINO FERNANDES  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Profa. Dra. DANIELA TIAGO DA SILVA CAMPOS  
UFMT - Laboratório de Microbiologia Agrícola / Universidade Federal de Mato Grosso

Data da realização: 10 de maio de 2012.

A minha mãe Maria I. P. Souza e meu pai Valdemir S. de Souza, pelo apoio incondicional, apesar de todas as dificuldades.

A minha irmã Ana Paula e minha companheira de todos os momentos Michaelli Y. Yoshitome por terem acreditado no meu sonho.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força, saúde para buscar esse sonho!

A Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, por ter me dado a oportunidade de realizar o sonho e por proporcionar uma boa formação profissional

A professora Ana Maria Rodrigues Cassiolato, pela orientação, confiança, ajuda e por ter me apoiado nesse meu sonho e no meu trabalho e, ter contribuído fundamentalmente para que o mesmo se concretizasse, obrigado por tudo professora!

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos!

Ao professor Francisco Maximino Fernandes por permitir o uso do laboratório e dos equipamentos necessário para a realização dos estudos!

Ao professor Orivaldo Arf por permitir o uso de sua área experimental para a realização desse trabalho!

A todos os professores do Curso de Pós-Graduação em Sistemas de Produção que contribuíram para minha formação profissional!

A todos os funcionários da UNESP que de alguma forma ajudaram na realização deste trabalho, assim como a todos os funcionários da Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão!

A minha família pelo apoio!

Ao grande amigo Edjair A. Dal Bem, que contribui muito em todas as fases de desenvolvimento deste trabalho, além do companheirismo e pronta disposição em sempre ajudar, além da diversão, proporcionado por suas piadas e histórias nos vários momentos de descontração!

A toda a família do Edjair, a quem eu agradeço em nome de sua mãe Dirce, que de algum modo participou da minha vida nesse momento e incentivou-me a continuar firme em busca desse sonho, obrigado pelo apoio e hospitalidade!

Ao Flávio Dalchiavon pela ajuda em vários momentos que precisei, sempre auxiliando com os seus conhecimentos e opiniões, os quais me ajudaram muito nessa caminhada!

A Adriana por ter passado seus conhecimentos e pela ajuda nos momentos em que precisei.

A Raissa Mazarelli, estagiária, pela grande ajuda e contribuição nos trabalhos de laboratório,  
proporcionando a realização do presente trabalho!

A todos os amigos de laboratório Rose, Marcia, Marcelo, Miguel, Valdivino, Carlinhos, João!

Aos amigos e amigas Isabel Braga, Darci Barbieri, Ana Paula, Vinicius Martins, Gustavo  
Caione, Flávio “Pirulito” Dalchiavon, Paula Koga, Aline Franco, Maria Suellen, João Ferreira,  
Hugo Macedo, Marcus “Paraíba”, Claudinei Kappes, Gracielle Neves, Rubens Ribeiro

A todos os colegas de sala!

Enfim, a todos que, de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho.

SOUZA, M. F. P. **Influência de plantas de cobertura e doses de fósforo nos atributos químicos e atividade microbiana do solo.** 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.

**Resumo:** Práticas agrícolas inadequadas estão tornando as maiores ameaças a degradação dos solos e à biodiversidade. O plantio direto se apresenta como um sistema de cultivo que reduz os impactos causados pelos sistemas convencionais, mantendo ou melhorando a fertilidade do solo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar, ao final do segundo ano de cultivo a influência de plantas de coberturas e doses de fósforo sobre os atributos químicos e biológicos de um solo de cerrado cultivado com feijoeiro, em sistema de plantio direto. O estudo foi realizado na fazenda da UNESP-Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria - MS. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo 8 tratamentos com plantas de cobertura (milheto; crotalária; guandu; mucuna; pousio; milheto + guandu; milheto + crotalária e milheto + mucuna-preta) caracterizando as parcelas e 3 doses de fósforo (0, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de monoamônio fosfato) nas subparcelas, totalizando 24 tratamentos, com 3 repetições. O fósforo foi aplicado no sulco de semeadura do feijoeiro em sucessão as plantas de cobertura. Das plantas de cobertura avaliou-se a produção de massa seca. Ao final do cultivo do feijoeiro, uma amostra composta, de cinco amostras simples, de solo tratado foi coletada por subparcela, na profundidade de 0,10 m, sendo posteriormente peneirada e homogeneizada. As raízes encontradas foram separadas, lavadas e preservadas temporariamente. Foram avaliados os atributos químicos e biológicos: carbono do CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>) liberado, carbono da biomassa microbiana (CBM), número de esporos e colonização por fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Das plantas de feijoeiro foi avaliada a atividade da enzima fosfatase ácida e a produtividade. Das plantas de cobertura avaliou-se a produção de massa seca. Com exceção do teor de fósforo no solo, as plantas de cobertura não diferiram entre si quanto aos seus efeitos nos atributos químicos do solo. As doses de fósforo aplicadas na semeadura do feijoeiro influenciaram nos teores de fósforo e na reação do solo (pH). As variáveis biológicas foram sensíveis e responderam positivamente às plantas de cobertura e às doses crescentes de adubação fosfatada. Maiores doses de fósforo proporcionaram aumentos do CBM e redução do  $qCO_2$ , colonização micorrízica e número de esporos de FMA. Valores elevados de  $qCO_2$  e baixos de  $qCmic$  foram encontrados para o consórcio milheto+crotalária, demonstrando alta atividade nessa área, com perdas de carbono orgânico.



**Palavras-chave:** Biomassa microbiana. Matéria orgânica. Feijoeiro. Adubação verde. Cerrado. Plantio direto. Micorriza arbuscular

SOUZA, M. F. P. **Influence of cover crops and doses of phosphorus on chemical attributes and soil microbial activity**. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.

**Abstract:** Inappropriate agricultural practices are becoming the greatest threats to soil degradation and biodiversity. No-till is presented as a farming system, once reduces the negative impacts of conventional systems while maintaining or improving soil fertility. In that sense, this study aimed to evaluate the influence of cover crops and doses of phosphorus on the chemical attributes and biological of a soil, under no-tillage system. The experiment was carried out in a farm belonging to UNESP/Campus of Ilha Solteira, located in Selvíria - MS. The experimental was conducted as a complete randomized blocks design, in split plot scheme, with eight treatments with cover crops (millet, pigeon pea, crotalaria, velvet bean, millet + pigeonpea, millet + crotalaria and millet + velvet bean) characterizing the plots and three phosphorus levels (0, 60 and 90 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, applied as phosphate monoammonium) as the subplots, totalizing 24 treatments, with three replications. Phosphorus was applied in furrow at sowing bean, in succession to cover crops. Cover crops were evaluated for the dry matter production. At the end of the second year of experiment, a soil sample, composed by five single samples, was collected per plot at a depth of 0-0.10 m, and then sieved and homogenized. The found roots were separated, washed and preserved temporarily. The soil chemical and microbiological activity by the contents of carbon of released CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>-C), microbial biomass carbon (MBC), number of spores and colonization by arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) were evaluated. The cover crops dry matter production was assessed as well as the acid phosphatase enzyme and productivity of bean plants. With the exception of soil phosphorus levels, cover crops did not differ in their effects on soil chemical properties. The phosphorus rates applied at sowing beans influenced content of phosphorus and soil reaction (pH). The biological variables were sensitive and responded positively to the cover crops and increasing doses of P fertilization. The higher levels of phosphorus provided the greatest CBM ratios, and the reduced values of *q*CO<sub>2</sub>, mycorrhizal colonization and spore numbers of AMF. High values of *q*CO<sub>2</sub> and low of *q*Cmic were found for the consortium millet + crotalaria, showing high activity in this area, with excessive losses of organic carbon.

**Key-words:** Microbial biomass. Organic matter. Green manure. Cerrado. Tillage. Arbuscular micorrhyza.

## LISTA DE FIGURAS

Figuras	Página
1.... Análise de regressão para a interação entre plantas de cobertura e doses para valores de pH CaCl <sub>2</sub> , fósforo (mg dm <sup>-3</sup> ) e acidez potencial (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) do solo em função das doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) aplicados em semeadura do feijoeiro .....	51
2.... Desdobramento da interação entre plantas de cobertura e doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) aplicados na semeadura do feijoeiro, tendo como plantas de cobertura: A= milho (mi) e crotalária (crot); B= mucuna (muc) como planta de cobertura e sem planta de cobertura pousio e C= milho + mucuna.....	52
3.... Análise de regressão para a interação entre plantas e doses para A= atividade enzimática da fosfatase (μg p – NPP g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ), B= colonização radicular (%) e C= número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, em função das doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) aplicados na semeadura do feijoeiro.....	56
4.... Desdobramento da interação entre planta e doses para número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, para os tratamentos A= crotalária (crot) e guandu (gua), B= mucuna (muc) e milho + guandu (mi + gua) e C= milho + crotalária (mi + crot) e milho + mucuna (mi + muc), em função das doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) aplicados na semeadura do feijoeiro.....	58
5.... Análise de regressão para quantidade de carbono da biomassa microbiana (CBM - μg C g <sup>-1</sup> solo) e do quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> - mg CO <sub>2</sub> mg <sup>-1</sup> C dia <sup>-1</sup> ), em função das doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) aplicados em semeadura do feijoeiro.....	65
6.... Desdobramento da interação entre plantas de cobertura e dose para quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> - mg CO <sub>2</sub> mg <sup>-1</sup> C dia <sup>-1</sup> ) para os tratamentos mucuna (muc) e milho + crotalária (mi + crot), em função das doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) aplicados na semeadura do feijoeiro.....	68
7.... Análise de regressão da interação entre as plantas de cobertura e dose para o quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> - mg CO <sub>2</sub> mg <sup>-1</sup> C dia <sup>-1</sup> ) e o quociente microbiano (qCmic - %) para milho + mucuna (mi + muc) em função das doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) aplicados na semeadura do feijoeiro.....	69
8.... Análise de regressão para quociente de carbono microbiano (%) em função das doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) aplicados na semeadura do feijoeiro em sistema plantio direto, tendo como plantas de cobertura mucuna (muc) e milho + mucuna (mi + muc).....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabelas	Página
1.... Teste de comparação de médias, teste F, diferença mínima significativa (DMS), coeficientes de variação (CV%) para produção de massa seca da parte aérea das plantas de cobertura instaladas anteriormente a cultura do feijoeiro .....	45
2.... Teste de comparação de médias, teste F, diferença mínima significativa (DMS), coeficientes de variação (CV%) e análise de regressão com modelo da equação e significância para os atributos químicos, avaliados na camada de 0-0,10 m, em função das plantas de cobertura e doses de $P_2O_5$ ( $kg\ ha^{-1}$ ) aplicados em semeadura do feijoeiro.....	47
3.... Desdobramento da interação significativa do teor de fósforo no solo, para as interações entre plantas de cobertura e doses de $P_2O_5$ ( $kg\ ha^{-1}$ ) aplicados em semeadura do feijoeiro, com respectivos modelos de equação de regressão, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e significância.....	51
4.... Teste de comparação de médias, teste F, diferença mínima significativa (DMS), coeficientes de variação (CV%) e análise de regressão com modelo da equação e significância para colonização (COL - %) e número de esporos ( $n. \times 100\ g\ solo\ seco$ ) de fungos micorrízicos arbusculares, produtividade ( $kg\ ha^{-1}$ ) e fosfatase ácida da parte aérea ( $\mu g\ p-NPP\ g^{-1}\ h^{-1}$ ), avaliados na camada de 0-0,10 m, em função das doses de $P_2O_5$ ( $kg\ ha^{-1}$ ) aplicados em semeadura do feijoeiro e plantas de cobertura.....	55
5.... Desdobramento da interação significativa para as diferentes plantas de cobertura entre os diferentes tratamentos com aplicação de $P_2O_5$ para produção de esporos, com respectivos modelos de equação de regressão, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e significância.....	57
6.... Teste de comparação de médias, teste F, diferença mínima significativa (DMS), coeficientes de variação (CV%) e análise de regressão com modelo da equação e significância para os carbonos do $CO_2$ liberado ( $C-CO_2 - mg\ CO_2\ g^{-1}\ solo\ seco\ dia^{-1}$ ), carbono da biomassa microbiana (CBM - $\mu g\ C\ g^{-1}\ solo\ seco$ ), quociente metabólicos ( $qCO_2 - mg\ CO_2\ mg^{-1}\ C\ dia$ ), quociente microbiano ( $qCmic - \%$ ), avaliados na camada de 0-0,10 m, em função das doses de $P_2O_5$ ( $kg\ ha^{-1}$ ) aplicados em semeadura do feijoeiro e plantas de cobertura.....	62
7.... Desdobramento da interação significativa entre plantas de cobertura e doses de fósforo ( $P_2O_5 - mg\ dm^{-3}$ ) para quociente metabólico e quociente microbiano, com respectivos modelos de equação de regressão, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e significância.....	67

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	14
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
2.1.	Cerrado.....	16
2.2.	Cultura do feijoeiro .....	16
2.3.	Fósforo no solo e sua importância para as plantas.....	17
2.4.	Fosfatase ácida .....	19
2.5.	Sistema Plantio direto .....	20
2.6.	Rotação de culturas e adubação verde .....	21
2.7.	Plantas de cobertura .....	25
2.7.1.	Guandú ( <i>Cajanas cajan</i> L.).....	25
2.7.2.	Crotalária ( <i>Crotalaria juncea</i> L.).....	26
2.7.3.	Mucuna-preta ( <i>Mucuna aterrima</i> Piper & Tracy).....	28
2.7.4.	Milheto ( <i>Pennisetum glaucum</i> L.) .....	29
2.8.	Indicadores de qualidade do solo .....	30
2.9.	Fungos micorrízicos arbusculares.....	33
3.	MATERIAL E MÉTODOS .....	37
3.1.	Área experimental.....	37
3.2.	Cultura anterior e caracterização inicial do solo da área .....	37
3.3.	Delineamento experimental .....	38
3.4.	Plantas de cobertura como fonte de adubo verde.....	38
3.5.	Determinação da massa seca da parte aérea das plantas de cobertura do solo .....	39
3.6.	Semeadura e condução do feijoeiro .....	39
3.7.	Avaliações .....	40
3.7.1.	Caracterização do solo .....	40
3.7.2.	Caracterização biológica.....	41
3.7.2.1.	Carbono do CO <sub>2</sub> (C-CO <sub>2</sub> ) liberado .....	41
3.7.2.2.	Carbono de biomassa microbiana (CBM).....	41
3.7.2.3.	Quociente metabólico ( <i>q</i> CO <sub>2</sub> ).....	42
3.7.2.4.	Quociente do carbono microbiano ( <i>q</i> Cmic).....	42
3.7.3.	Colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares .....	42

3.7.4.	Fosfatase ácida da parte aérea do feijoeiro .....	43
3.7.5.	Produtividade do feijoeiro.....	44
3.8.	Forma de análise dos resultados .....	44
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
4.1.	Produção massa seca da parte aérea das plantas de cobertura .....	45
4.2.	Atributos químicos .....	46
4.3.	Colonização radicular e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares.....	53
4.4.	Produtividade do feijoeiro.....	59
4.5.	Fosfatase ácida do feijoeiro.....	59
4.6.	Atributos biológicos.....	61
5.	CONCLUSÕES .....	72
6.	REFERÊNCIAS.....	73

## 1. INTRODUÇÃO

O cerrado compreende a vegetação predominante no Brasil Central, que em função de suas boas condições de topografia, tipo de terreno e facilidade de desmatamento, faz com que este bioma represente a principal região produtora de grãos do Brasil. A mudança da vegetação natural para sistema de exploração agropecuária provoca alterações profundas nos atributos do solo. Quando uma área de vegetação nativa de cerrado é convertida em pastagem, ou área de cultivo de grãos, os atributos químicos e biológicos do solo são alterados (COSTA et al., 2006a; CARNEIRO et al., 2009).

São características dos solos do cerrado apresentar baixa fertilidade, acidez e toxidez por alumínio, baixa disponibilidade de nutrientes essenciais ao desenvolvimento da planta, dentre estes o fósforo. Este nutriente relaciona-se a todas as etapas metabólicas, por fazer parte dos processos de síntese protéica e energética, na translocação e formação de ácidos graxos, fosfolípidios além de interferir diretamente no processo fotossintético (MARSCHNER, 1995). Em solos tropicais, a forma disponível do fósforo é encontrada em pequenas quantidades devido à adsorção a óxidos de ferro e alumínio. Práticas agrícolas inadequadas estão agravando essa situação tornando-se as maiores ameaças a degradação dos solos e à biodiversidade.

Diante disso, o plantio direto apresenta-se como um sistema de cultivo que reduz os impactos causados pelos sistemas convencionais, mantém e/ou melhora a fertilidade do solo, proporcionando maior produtividade às culturas (PELÁ et al., 2010). Este sistema apresenta, na camada superficial, maior estabilidade de suas propriedades estruturais que, aliado a manutenção de resíduos vegetais de culturas antecessoras sobre a superfície do solo, reduz os impactos de gotas da chuva, favorecendo a infiltração e reduzindo a perda de água por escoamento superficial.

A opção por espécies que tenham rápido crescimento inicial, tolerância a solos com alumínio trocável, sistema radicular profundo, com produção de massa necessária para a proteção do solo, baixa taxa de decomposição com relação C/N apropriada às culturas sucessoras, é que influenciará no grau de sucesso obtido com a utilização desse tipo de manejo adotado.

A qualidade de um solo é uma característica dependente de sua natureza, dos fatores de formação e da interferência direta e/ou indireta da ação antrópica relacionada ao seu uso e manejo (SANTOS et al., 2008a). A implantação de culturas para adubação verde, em rotação, sucessão ou consorciação com outras culturas, sejam elas incorporadas ou expostas na superfície, é sugerida como método fundamental para se manter e/ou elevar o teor de matéria orgânica no solo, mantendo, ou mesmo, melhorando principalmente as condições físicas, químicas e biológicas do solo para a cultura principal.

Como qualidade do solo, Doran e Parkin (1994) consideraram sua capacidade de funcionar em um ecossistema equilibrado, sustentando a produtividade biológica, promovendo a qualidade ambiental. Os indicadores de qualidade do solo tem se mostrado como um método útil e cada vez mais importante para avaliar a capacidade não apenas do solo, mas do sistema como um todo de se auto-sustentar, tornando-se viável no presente e futuro.

Os organismos do solo se apresentam de modo dinâmico, sendo facilmente afetados por alterações físicas e químicas do solo, assim como pelas práticas de manejo, sistema de cultivo adotado e textura do solo (VENZKE FILHO et al., 2008). A biomassa microbiana pode ser considerada como o maior e mais excelente indicador biológico da qualidade de um solo. Sendo definida como a parte viva da matéria orgânica, representando um total de carbono no solo variando de 2 a 4%, composta por bactérias, fungos e representantes da microfauna (FEIGL et al., 1995; TURCO et al., 1994).

Por apresentar a biomassa microbiana do solo um caráter dinâmico e esta se correlacionar com a dinâmica da matéria orgânica, ela se torna importante na avaliação dos processos que ocorrem no solo, demonstrando que a quantidade e atividade desse atributo biológico podem fornecer informações primordiais para o planejamento do uso e manejo do solo (D'ANDRÉA et al., 2002).

Dentre os microorganismos do solo, os fungos micorrízicos, que formam simbiose com diversas espécies vegetais, mostram efeitos benéficos no desenvolvimento das plantas, com melhora na nutrição mineral. Tais efeitos variam conforme as espécies vegetais e o fungo envolvido, sendo tão importante para algumas espécies vegetais que, na ausência total da simbiose, não conseguem os nutrientes necessários para a sua sobrevivência.

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar, ao final do segundo ano de cultivo, a influência de plantas de coberturas e doses de fósforo sobre os atributos químicos e biológicos em solo de cerrado cultivado com feijoeiro, em sistema de plantio direto.



## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Cerrado**

O cerrado é o segundo maior Domínio brasileiro, ocupando 21% do território nacional. Apresentam elevada biodiversidade representada pelas espécies de fauna e flora, característicos de ecossistemas presentes no Brasil central. O Cerrado é composto por uma grande variação vegetacional, variando de formações campestres, florestais até savânicas, tornando-se assim, a vegetação predominante da região central do Brasil (EITEN, 1993).

A grande diversidade de formações que constitui o Cerrado é um dos fatores que explica porque este Domínio contribui com cerca de 33% da diversidade biológica do Brasil (AGUIAR et al., 2004). Os principais fatores que influenciam a fisionomia e a diversidade de formações encontradas compondo o Cerrado são: acidez dos solos e toxicidade por alumínio, profundidade do lençol freático, estresses hídrico e nutricional, e frequência e intensidade de queimadas (EITEN, 1993). Além desses fatores, a grande heterogeneidade das características químicas e físicas do solo torna a composição florística dessas formações vegetacionais distintas (HARIDASAN, 2005).

Na região do cerrado, a degradação do solo que ocorre naturalmente é provocada principalmente pelas práticas inadequadas de manejo aplicadas aos solos sob atividades agropecuárias, além da disseminação de espécies exóticas (KLINK; MACHADO, 2005). Em função de suas ótimas condições topográficas, do tipo de terreno e da facilidade de desmatamento e limpeza da área, o cerrado representa a principal região brasileira produtora de grãos.

### **2.2 Cultura do feijoeiro**

No Brasil, a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) constitui-se numa das mais representativas explorações agrícolas, não só pela área de cultivo, como também pelo valor da produção. Trata-se de um componente importante na alimentação básica da população nacional, por ser rico em proteínas e ferro (MONTANARI et al., 2010).

Em praticamente todos os estados brasileiros, o feijoeiro é cultivado nas mais variadas condições edafo-climáticas e em diferentes épocas e sistemas de cultivo (CARNEIRO, 2002). Apesar da sua importância como uma das culturas mais difundidas no Brasil, com alto caráter econômico e significado social, o feijoeiro apresenta produtividade relativamente baixa (SOUZA et al., 2006). De acordo com os autores, os aspectos relacionados à baixa fertilidade e presença de elementos tóxicos como o alumínio no solo, despontam como os fatores responsáveis pela baixa produtividade da cultura.

Entre os nutrientes, o nitrogênio é o elemento requerido em maior quantidade pelo feijoeiro e, dependendo da cultivar, apresenta maior ou menor capacidade de fixação do nitrogênio atmosférico pela ação das bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, presentes em nódulos formados no sistema radicular (BORDIN et al., 2003).

De acordo com os autores acima, a produtividade do feijoeiro esta diretamente relacionada com a quantidade de nitrogênio aplicado na cultura que, por sua vez pode estar condicionada ao tipo de planta de cobertura (gramínea ou leguminosa) que se cultiva na área, em sistema de semeadura direta.

Em material com relação C/N maior que 20, característica da maioria das gramíneas, há maior imobilização de nitrogênio para sua decomposição (ALVARENGA et al., 2001), sendo necessário maior quantidade desse nutriente para obter resultados satisfatórios na colheita de feijão.

### **2.3 Fósforo no solo e sua importância para as plantas**

Os solos tropicais apresentam baixa concentração de fósforo disponível e alto potencial de fixação do fósforo, por isso este é tido como o principal nutriente limitante da produtividade de biomassa desses solos (NOVAIS; SMYTH, 1999). Nesse sentido, os solos brasileiros são carentes de fósforo devido, principalmente, ao material de origem e da forte interação do fósforo com a parte sólida do solo (RAIJ, 1991).

Nos solos altamente intemperizados, como os Latossolos, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente. Assim, essas frações orgânicas e inorgânicas de fósforo podem atuar como fonte desse nutriente para a solução do solo, dependendo das suas características mineralógicas e condições de manejo do solo (NOVAIS; SMYTH, 1999). De acordo com o maior ou menor grau de estabilidade destes compostos, são enquadrados como fosfatos lábeis e não-lábeis (SANTOS et al., 2008b).

Para entender a sua dinâmica, o fósforo do solo é dividido em dois grandes grupos, fósforo inorgânico e fósforo orgânico, dependendo da natureza do composto a que está ligado. O grupo do fósforo inorgânico pode ser separado em duas partes, o fósforo dos minerais primários e o fósforo adsorvido. Ele compõe um intrincado 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 oxihidróxidos de ferro e alumínio e, inclusive, adsorvido à matéria orgânica do solo por meio de pontes de cátions (BARROW, 1983).

A magnitude da adsorção depende da quantidade de constituintes com capacidade de adsorver moléculas neutras ou carregadas eletricamente. Nos solos das regiões tropicais, os óxidos de ferro e alumínio e, em menores quantidades, os óxidos bem cristalizados e a caulinita são os principais responsáveis por esse fenômeno (SANTOS et al., 2008b). Isso ocorre, pois, os solos das regiões tropicais são geralmente ácidos e apresentam quantidades significativas de oxidróxidos de ferro e alumínio e caulinita, carregados positivamente, apresentando alta capacidade de fixação de fosfato, que é adsorvido às superfícies dos colóides por um complexo de esfera interna (MEURER et al., 2004).

O fósforo orgânico pode constituir de 5 a 80% do fósforo total do solo e, nos solos tropicais, é fonte de fósforo às plantas e deve ser levado em consideração em estudos envolvendo a sua dinâmica e a biodisponibilidade (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2003). O fósforo orgânico é originário dos resíduos vegetais adicionados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição (RHEINHEIMER et al., 2000a; MARTINAZZO et al., 2007). A grande variedade de compostos orgânicos no solo faz com que mais da metade das formas de fósforo orgânico ainda não tenham sido identificadas (CONTE et al., 2003).

A estabilidade destes compostos depende de sua natureza e de sua interação com a fração mineral, pois são usados como fonte de carbono e elétrons pelos microorganismos, cujo resultado é a sua mineralização e disponibilização do fósforo (RHEINHEIMER et al., 2002).

O fósforo é um elemento essencial ao crescimento e reprodução das plantas, as quais não alcançam seu máximo potencial produtivo sem um adequado suprimento nutricional (MARSCHNER, 1995). O fósforo é componente de compostos importantes das células vegetais, incluindo fosfato presente nas moléculas de açúcares, intermediários da respiração e fotossíntese, bem como dos fosfolipídeos que compõem as membranas vegetais. É, também, componente de nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas como ATP e dos ácidos nucléicos (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A influência do suprimento de fósforo sobre a produção do feijoeiro tem sido estudada em diversos trabalhos, como Fageria e Santos (1998), que confirmam a grande importância desse nutriente para a cultura, embora seja, entre os macronutrientes, o menos exigido (SOUZA et al., 2006). Entretanto, esse nutriente é considerado de maior limitação nutricional ao desenvolvimento das culturas nos solos das regiões tropicais, devido à alta fixação do fósforo aos componentes mineralógicos do solo, concorrendo para os valores extremamente baixos de fósforo em solução. Embora o teor total de fósforo no solo se situe entre 200 a 3.000 mg kg<sup>-1</sup>, na maioria das vezes, menos de 0,1% (0,2 a 3 mg kg<sup>-1</sup>) desse fósforo se encontra em solução, ou seja, prontamente disponível à absorção vegetal (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Com a adição de fertilizantes fosfatados, há o acúmulo de fósforo em formas inorgânicas e orgânicas com diferentes graus de energia de ligação, mesmo que o acúmulo das formas inorgânicas seja mais pronunciado. A redistribuição de fósforo em diversas formas quando da adubação também ocorre em solos cultivados sob sistema plantio direto. Observa-se a formação de uma camada na superfície do solo com alta disponibilidade de nutrientes, principalmente de fósforo (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001).

Esse comportamento é consequência da adição consecutiva de fertilizantes na camada superficial, ausência de revolvimento e menor perda de solo por meio da erosão. A adsorção do fósforo ocorre primeiramente nos sítios mais ávidos (de menor labilidade) e, posteriormente, o fósforo remanescente é redistribuído em frações retidas com menor energia e de maior disponibilidade às plantas, comparativamente ao sistema de cultivo convencional (RHEINHEIMER et al., 2000b).

## **2.4 Fosfatase ácida**

Fosfatase ácida é um termo usual dado a um conjunto de enzimas extracelulares de microorganismos e/ou plantas que promovem a desvinculação do fósforo de compostos orgânicos. A produção dessas enzimas é resultado de processo de modificações ao nível bioquímico, desencadeados pela ocorrência na redução da absorção de fósforo pelos organismos (RHAGHOTHA, 1999). Formas distintas desta enzima ocorrem em resultado das respostas adaptativas ou, de modo natural, em diferentes órgãos de uma mesma planta. Essas enzimas podem ser encontradas de forma livre no solo ou associadas à parede celular (TAMURA et al., 1982).

Embora os mecanismos envolvidos não sejam ainda totalmente explicados, as fosfatases se relacionam diretamente com as frações fosfatadas presentes nos organismos vegetais. Sendo que à medida que ocorre um decréscimo no suprimento de fósforo para as plantas, verifica-se um aumento da atividade dessas enzimas (BIELESKI; FERGUNSON, 1983).

Isto ocorre devido à baixa concentração do íon fosfato presente nos tecidos vegetais, fazendo com que ocorra uma maior atividade dessas enzimas nessas condições, já que em presença de grandes quantidades do íon fosfato, sua síntese é inibida (REID; BIELESKI, 1970).

Nesse sentido, a atividade dessas enzimas em diversas espécies vegetais pode ser utilizada como um teste rápido para diagnose nutricional da deficiência de fósforo, prevendo uma possível deficiência antes mesmo do surgimento dos sintomas visuais (BESFORD, 1979). No entanto, para que esse método possa ser utilizado como teste de diagnose da nutrição fosfatada, se faz necessário o estabelecimento de padrões, como a qual a parte da planta a ser amostrada e qual o melhor estágio de desenvolvimento do vegetal (ASCENCIO, 1994).

## **2.5 Sistema Plantio direto**

Em meados dos anos 60 e 70, com a finalidade de amenizar os efeitos da degradação dos solos devido às práticas agrícolas, foi introduzido no país, os sistemas de cultivo mínimo e de semeadura direta, este último popularmente conhecido como sistema de plantio direto (CASTRO FILHO et al., 1998). Esse é um sistema conservacionista que pode manter e/ou melhorar a fertilidade do solo, proporcionando maior produtividade às culturas (PELÁ et al., 2010). O plantio direto foi incorporado aos meios de produção agrícolas, como uma forma de diminuir as perdas de solo e favorecer o aproveitamento de água (CARVALHO et al., 2004).

Caracterizado por apresentar na camada superficial uma grande quantidade de material orgânico depositado, o plantio direto proporciona maior estabilidade de suas propriedades estruturais. A manutenção de resíduos vegetais de culturas antecessoras sobre a superfície do solo apresenta maior proteção contra os impactos de gotas da chuva. Ademais, atua como uma camada térmica contra a ação direta dos raios solares, favorecendo a infiltração e reduzindo a perda de água por escoamento superficial (ROTH; VIEIRA, 1983). Dessa maneira, esse sistema de manejo reduz as perdas de solo por erosão, melhorando as condições químicas, físicas e biológicas no solo, afetando diretamente sua fertilidade (CARVALHO et al., 2004).

Para o sucesso desse sistema de semeadura direta, porém, é necessário ter como requisitos básicos e fundamentais: um sistema de rotação de culturas, o manejo dos restos culturais, bem como o uso de culturas para cobertura do solo (ALVARENGA et al., 2001; CRUZ et al., 2001). Para Carvalho et al. (2007a), o sucesso da implantação e perenicidade do sistema plantio direto está associado a manutenção da cobertura do solo, dentro de um programa de rotação de culturas, tornando este um fator imprescindível para o sucesso do sistema adotado. Nesse sentido, a escolha de espécies de cobertura com elevada produtividade de fitomassa é um importante fator para maximizar suas vantagens (OLIVEIRA et al., 2003).

As plantas de coberturas protegem o solo contra fenômenos como a erosão e a perda de nutrientes (SUZUKI; ALVES, 2006), além de manter a superfície do solo coberta por materiais vegetais, em qualquer uma de suas fases vegetativas ou mesmo nos estágios de decomposição. As plantas de cobertura, em sua maioria, melhoram a disponibilidade de nutrientes para a cultura em sucessão (ANDREOLA et al., 2000), facilitam a ciclagem de nutrientes e fornecem nitrogênio ao solo via leguminosa (OSTERROHT, 2002; PERIN et al., 2004).

Além disso, espécies com sistemas radiculares profundo podem retirar nutrientes de camadas subsuperficiais e liberá-los gradativamente nas camadas mais superficiais, ao longo do processo de decomposição, auxiliando na manutenção do equilíbrio dos nutrientes no solo, mantendo ou aumentando a fertilidade destes (FIORIN, 1999).

## **2.6 Rotação de culturas e adubação verde**

A rotação e/ou sucessão de culturas é uma prática fundamental para a sustentabilidade da capacidade produtiva dos solos nos sistemas agrícolas, o qual independe do manejo adotado para o solo (JESUS et al., 2007). Entende-se como rotação de culturas a alternância regular e ordenada no cultivo de diferentes espécies vegetais em sequência temporal numa determinada área (DUARTE JUNIOR; COELHO, 2010).

A prática da rotação é muito importante quando se diz respeito a culturas, como os cereais e as oleaginosas, pois se verifica queda na produtividade desses quando cultivados por um longo período na mesma área (JESUS et al., 2007). Por isso a utilização de culturas que cobrem os solos por intervalos temporais maiores, evitando sua exposição excessiva aos fatores abióticos, é fundamental quando se busca a sustentabilidade do meio (SANTOS; REIS, 2001).

A implantação de culturas para adubação verde, ou seja, com a utilização de plantas em rotação, sucessão ou consorciação com outras culturas, sejam elas incorporadas ou expostas na superfície, enriquece o solo por acrescentar materiais orgânicos distintos, contribuindo para a diversidade da micro e macro fauna do solo, mantendo ou melhorando principalmente, as condições químicas para a cultura principal (PRIMAVESI, 1999). Essa idéia é apoiada por Silva et al. (1999), os quais dizem ser a fertilidade do solo afetada pela adubação verde, devido ao incremento de matéria orgânica no solo ao longo do tempo, pela adição e decomposição da fitomassa presente neste sistema.

A adubação verde, em manejos consorciados com sucessão ou não de culturas, é sugerida como método fundamental para se manter e/ou elevar o teor de matéria orgânica no solo (GONÇALVES; CERETTA, 1999). Essa proporciona benefícios para os sistemas agrícolas, melhorando a cobertura e proteção, as condições físicas, químicas e biológicas do solo, além do uso da fitomassa para diversas finalidades, inclusive para a alimentação animal (CALEGARI et al., 1992).

A prática de adubação verde para cobertura ou mesmo para sucessão de culturas apresenta-se como uma solução no aumento da produtividade agrícola, que é pequena devido à baixa capacidade de retenção de água e nutrientes dos solos. Suas características são amenizadas pelo incremento de material orgânico por meio da implantação de culturas para cobertura e adubação verde (DUARTE JUNIOR; COELHO, 2010). O manejo de plantas de cobertura propicia, portanto, incrementos significativos nas quantidades de materiais orgânicos no solo. Essas podem acarretar aumento nos teores de matéria orgânica, importante para os solos tropicais, visto que, de 56 a 82% da capacidade de troca catiônica desses solos é de responsabilidade da matéria orgânica (RAIJ, 1991).

A adubação verde é um método viável e promissor, pois vários resultados de pesquisas comprovam sua eficiência na cobertura e proteção do solo, salientando-se os ganhos quanto às condições químicas, físicas e biológicas, acarretando em aumento na produtividade das culturas (CALEGARI et al., 1992; JESUS et al., 2007). Scivittaro et al. (2000) observaram um rendimento superior em 82% para produção de grãos de milho (*Zea mays* L.) pela utilização da mucuna preta associada a 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, em relação a testemunha, tratada com adubação química na mesma quantidade, porém sem adubação verde.

Resultado semelhante foi obtido por Spagnollo et al. (2002), que utilizando a leguminosa feijão-de-porco, verificaram aumentos no rendimento do milho variando entre 17 e 93%, com ganhos em torno de 423 a 2256 kg ha<sup>-1</sup>. Em relação à cultura do feijoeiro de

inverno, os autores relataram que a incorporação da mucuna-preta praticamente dobrou a produtividade da cultura em sucessão a cultura do milho.

Estudando a influência de plantas de cobertura sobre o desenvolvimento e produtividade do feijoeiro de inverno, Arf et al. (1999) verificaram maior produtividade e desenvolvimento da cultura no tratamento com mucuna-preta, que apresentou o melhor desempenho em relação aos tratamentos com plantas de cobertura e uso da palhada do milho. Também estudando feijão, Andreola et al. (2000) demonstraram que as plantas de cobertura foram responsáveis por um incremento de 32% na produtividade do feijão, em comparação a testemunha sob solo sem cobertura.

A opção por espécies que tenham rápido crescimento inicial, tolerância a solos com acidez por alumínio, apresentem sistema radicular profundo, com boa produção de fitomassa necessária para a proteção do solo, baixa taxa de decomposição com relação C/N apropriada às culturas sucessoras é que influenciará no grau de sucesso obtido com a utilização desse tipo de manejo adotado (FERNANDES et al., 1999).

Dessa forma, as leguminosas se destacam na prática da adubação verde, por formarem associações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico fornecendo boas quantidades desse nutriente para o solo (PERIN et al., 2003), acarretando em uma maior disponibilidade e melhor nutrição para as culturas sucessoras em relação a este nutriente (ZOTARELLI, 2000). Além disso, essas plantas possuem baixa relação C/N, quando comparada a plantas de outras famílias (PERIN et al., 2004).

A produção de palhada para o plantio direto no cerrado brasileiro é influenciada pelas condições de umidade e temperatura, que são elevadas na maior parte do ano, ocasionando uma rápida decomposição da fitomassa presente sobre o solo (OLIVEIRA et al., 2003).

Sobre isso, Calegari et al. (1993) apontam que resíduos com relação C/N superior a 20:1, devem ser preferidos para uso em plantio direto, pois quanto maior for sua relação, mais lentamente ocorrerá a decomposição do material orgânico, disponibilizando gradativamente os nutrientes ao solo. Para Darolt (1998), mesmo as leguminosas apresentando baixa relação C/N, estas devem ser utilizadas como adubo verde em planos de rotação de culturas em sistemas de plantio direto, pois estas trazem vantagens em curto prazo, como a liberação de nutrientes durante a sua decomposição.

A liberação desses nutrientes a partir dos resíduos vegetais depende da atividade microbiana no solo e, principalmente, da qualidade desse resíduo (ASSIS et al., 2003), por isso materiais com alta relação C/N, como a palhada de milho, sofrem decomposição mais lenta (SILVA; RESCK, 1997). Essa baixa disponibilidade de nitrogênio pode prejudicar o



desenvolvimento da cultura sucessora, devido a competição entre a biomassa microbiana e as raízes das plantas (ASSIS et al., 2003). Isso ocorre por que o nitrogênio presente no resíduo orgânico não é suficiente para que haja decomposição da palhada, tornando-se limitante (JENKINSON et al., 1990).

O nitrogênio, que é um dos nutrientes mais limitantes ao crescimento de plantas nos trópicos (PERIN et al., 2004), pode ter o seu teor aumentado no solo por meio de adubos verdes. Esses se associam a bactérias fixadoras de nitrogênio, permitindo o aumento do nutriente em função da fixação biológica de nitrogênio promovida pelas mesmas, representando contribuições consideráveis na viabilidade e sustentabilidade dos sistemas de produção (BODDEY et al., 1997).

O uso de não leguminosas como plantas de rotação de culturas com a finalidade da adubação verde pode amenizar as perdas de nitrogênio, pois ocorre uma imobilização temporária deste nutriente em sua biomassa (ANDREOLA et al., 2000). Bortolini et al. (2000) aponta que o uso de resíduos de gramíneas para adubação verde, confere ao solo uma maior proteção, visto que, estes resíduos apresentam uma taxa menor de decomposição quando comparados com plantas leguminosas.

Ainda de acordo com o autor, o consórcio entre leguminosas e gramíneas, pode ser a melhor combinação para manejos que adotam plantas de cobertura visando à adubação verde em rotação de culturas. Essas plantas adicionam características favoráveis quanto à proteção do solo, bem como, à nutrição das plantas pelo suprimento de nitrogênio a partir das leguminosas (PERIN et al., 2004).

Por meio do consórcio de leguminosas e gramíneas com elevada produção de matéria seca, fatores positivos e desejados como a proteção e adubação do solo por meio da reciclagem de nutrientes promovida pelos microorganismos (OLIVEIRA et al., 2003). Dentro das gramíneas, as espécies passíveis de serem consorciadas com leguminosas para Calegari (1995) são milho e sorgo.

Outro ponto a ser destacado pelo consórcio é que as gramíneas utilizadas em cultivo “solteiro” geralmente apresentam relação C/N mais elevada quando comparadas com leguminosas, porém essa relação é amenizada em cultivos consorciados. Este fato foi demonstrado por Amado et al. (2000), que em trabalho com adubo verde de inverno com aveia (*Avena strigosa*) e ervilhaca (*Vicia sativa*), verificaram relações C/N superior a 45 para a aveia. No entanto, quando realizado o consórcio entre essas duas espécies, os autores encontraram grande produção de fitomassa, bom acúmulo de nitrogênio, com relação C/N em

torno de 25, valor este considerado próximo ao equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização.

A carência de informações relativas ao cultivo consorciado de gramíneas e leguminosas em relação à adubação de verão, é que torna um desafio o entendimento do melhor aproveitamento de suas potencialidades e demonstração de práticas de manejo que possam aumentar a produtividade das culturas (PERIN et al., 2004).

## **2.7 Plantas de cobertura**

### **2.7.1 Guandu (*Cajanas cajan* L.)**

O guandu é uma planta da Família Fabaceae, leguminosa arbustiva anual ou semiperene, cuja origem ainda é incerta, mas indicando ser da África ou Índia (MAESEN, 1990). Esta leguminosa foi introduzida no Brasil provavelmente pelos escravos, tornando-se amplamente distribuída e seminaturalizada para a região tropical, assumindo grande importância como fonte de alimento humano e animal (SEIFFERT; THIAGO, 1983).

O guandu, dentre as espécies de leguminosas, ocupa mundialmente o sexto lugar em importância alimentar sendo usado extensivamente na Ásia para alimentação animal e humana. Além do uso como fonte de alimento, proporciona melhorias na fertilidade do solo, ocasionado pela habilidade que essa espécie apresenta de se associar a bactérias fixadora de nitrogênio (RAO et al., 2002).

Mesmo sendo considerada uma planta pouco exigente em relação à fertilidade do solo (JOHANSEN, 1990), o guandu apresenta uma produtividade de fitomassa em torno de 11 t ha<sup>-1</sup>, contribuindo com a disponibilidade de 283 kg ha<sup>-1</sup> de N e 23 kg ha<sup>-1</sup> de P (ALVES et al., 2004). Avaliando diferentes espécies de adubos verdes, Alvarenga et al. (1995) verificaram que o guandu apresentou o melhor rendimento para produção de biomassa seca. Alcântara et al. (2000) observaram sua grande capacidade na produção de matéria seca, e encontraram resultados que variaram de 13200 a 13800 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca.

Sua capacidade superior de produzir fitomassa em relação a outras leguminosas é comprovada por diversos trabalhos. Queiroz (2006), avaliando entre os anos de 2003 a 2005, em sete espécies de leguminosas arbóreas, a produção de fitomassa e o acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio, constatou que, com ou sem adição de fósforo ao solo, o guandu apresentou a maior produtividade de massa seca de parte área em relação às outras leguminosas, levando o autor a afirmar que o guandu é menos exigente em fósforo, possivelmente apresentando uma relação muito eficiente com micorrizas arbusculares.

A produção de massa verde por essa leguminosa também merece destaque já que alguns estudos como o de Suzuki e Alves (2006), que verificaram uma produção de massa verde para o guandu de 32.308 kg ha<sup>-1</sup>. Por esses fatores, o feijão guandu se constitui em uma das plantas de maior uso como adubação verde, pois além de possuir um sistema radicular pivotante profundo e ramificado, o que confere a planta uma capacidade maior de tolerar um possível estresse hídrico, esta planta, por meio do seu sistema radicular promove o rompimento de possíveis camadas adensadas de solos (ALCÂNTARA et al., 2000).

Se destacando com relação à manutenção e mesmo melhoria nas propriedades químicas do solo (RODRIGUES FILHO et al., 1996), essa leguminosa absorve os nutrientes em camadas mais profundas disponibilizando-os nas camadas mais superficiais do solo, o que permite com que as gramíneas, cujo sistema radicular é mais raso, absorvam esses nutrientes (MOLTOCARO, 2007). Ainda de acordo com o autor, o guandu proporciona maior recuperação do fósforo aplicado, bem como uma maior disponibilidade de nutrientes devido à grande ciclagem de nutrientes e fixação biológica promovida pela planta.

Outra característica benéfica proporcionada por essa leguminosa é sua capacidade de exsudar ácidos orgânicos pelas raízes, destacando-se o ácido cítrico, o qual promove a solubilização do fósforo precipitado pelo cálcio (AE et al., 1990). Estes autores constataram, também, que as raízes do guandu solubilizavam fósforo dos fosfatos naturais por meio do ácido piscídico produzido pelo sistema radicular dessas plantas, disponibilizando esse fósforo no solo ou absorvendo-o.

De acordo com Carvalho e Amabile (2006), quando ocorre essa solubilização e o fósforo disponível resultado desse processo é absorvido em maiores proporções pela própria planta, na ocorrência da mineralização do guandu, esse fósforo ficará disponível por um período maior em função da relação C/N ser mais elevada nessa leguminosa em comparação a outras, além do fato desta apresentar carbono recalcitrante.

Além de ser uma ótima cultura de cobertura utilizada para adubação verde devido suas características, o guandu também se apresenta como uma opção de aumentar a absorção de fósforo, mesmo de fontes insolúveis.

### **2.7.2 Crotalária (*Crotalaria juncea* L.)**

A crotalária é uma leguminosa pertencente à Família Fabaceae, muito importante na agricultura, pois é utilizada como planta para adubação verde, mas em consórcios com outras culturas (LEIHNER, 1983), auxilia como atenuante de problemas de erosão e como

condicionadores da fertilidade do solo (AMABILE et al., 1994). É uma leguminosa de crescimento rápido, cultivada em toda região tropical, com boa germinação e desenvolvimento em solos pobres, mesmo os arenosos, porém é exigente em luz, calor e umidade (CALEGARI et al., 1993), se destacando como excelente cultura para adubação verde (VALENZUELA; SMITH, 2002).

A crotalária, por ser uma leguminosa tropical, é frequentemente implantada como cultura de cobertura ou adubação verde, devido aos benefícios proporcionados ao solo, principalmente como fonte de nitrogênio, por elevar as quantidades de material orgânico sobre o solo e supressora de nematóides (MARSHALL et al., 2002).

Essas características são ressaltadas também por Wang et al. (2003), os quais acrescentam dizendo ser esta uma planta que chama atenção, tanto por proporcionar a fixação de nitrogênio pela relação simbiótica com bactérias, como pela grande produção de biomassa, além da forma rápida com a qual seqüestram carbono. O que confere a ela todas as características fundamentais para ser empregada na rotação de culturas em sistemas agrícolas, visando à sustentabilidade do manejo utilizado na área.

*C. juncea* chega a fixar de 150 a 165 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de nitrogênio no solo, mas esse valor pode chegar até os 450 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> dependendo de certas condições. Além disso, essa planta de cobertura produz uma quantidade de massa seca que varia de 10 a 15 toneladas ha<sup>-1</sup>, o que corresponde a 41 kg ha<sup>-1</sup> de P e 217 kg ha<sup>-1</sup> de K (WUTKE, 1993).

Em trabalhos com milho e crotalária, para avaliar a produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nutrientes por essas plantas de cobertura, Perin et al. (2004) verificaram maior produção de fitomassa para a leguminosa, valor esse superior em 31% a produção da fitomassa por parte da gramínea.

No mesmo trabalho, os autores estudaram a influência das plantas de cobertura nos teores de nutrientes e verificaram que o uso da leguminosa proporcionou os maiores teores de nitrogênio e cálcio, enquanto o milho se destacou com teores mais elevados de potássio. Quanto ao teor de nitrogênio, foi obtido um total de 173 kg ha<sup>-1</sup>, devido à associação simbiótica realizada entre a leguminosa e as bactérias fixadoras de nitrogênio.

Duarte Junior (2006), estudando três diferentes leguminosas como planta de cobertura para plantio direto verificou que a crotalária aos 30 dias de sua implantação proporcionou uma cobertura de 87% do solo, além de apresentar valor até 40% superior em relação às outras leguminosas testadas. Aos 92 dias após a emergência das plantas de cobertura, o autor verificou que a produção de massa seca da crotalária foi superior em até 78% a matéria seca produzida pela mucuna preta, com um total de 17.852 kg ha<sup>-1</sup>.

Em relação ao acúmulo de fósforo, o trabalho de Duarte Junior (2006) apresentou um valor 66% maior do nutriente acumulado na parte aérea da planta pela crotalária em relação à mucuna, demonstrando sua importância na reciclagem deste nutriente para o solo. Reis et al. (2007), estudando diferentes manejos das espécies de crotalária e mucuna-cinza, verificaram que o manejo não interferiu na decomposição da massa seca e que as duas culturas de cobertura apresentaram valores de massas estatisticamente iguais aos 30, 70 e 125 dias após a semeadura. Diferença estatística verificou-se somente aos 97 dias, período esse, em que a crotalária apresentou maior quantidade de massa seca, que de acordo com os autores, deve-se ao fato da falta de água no solo e o seu rápido crescimento inicial.

O máximo rendimento da crotalária para a obtenção de massa seca depende das condições do ambiente, sendo que a época de plantio e arranjo populacional influencia na produção de biomassa, na produção de sementes e fixação biológica (PEREIRA, 2004).

### 2.7.3 Mucuna-preta (*Mucuna aterrima* Piper & Tracy)

A mucuna preta é uma planta da família das leguminosas, cujo centro de origem acredita ser a China (BARNI et al., 2003), sendo uma planta anual ou bianual, de crescimento indeterminado, porte baixo contendo ramos trepadores bem desenvolvidos, com boa vegetação em regiões tropicais (WUTKE, 1993). A maioria das espécies desenvolve bem tanto em solos arenosos como nos argilosos, sendo tolerante a solos ácidos, temperaturas elevadas (CALEGARI et al., 1993), além de tolerar solos com baixa fertilidade e secos, apresenta-se sensível a solos frios e encharcados (FERRAZ et al., 2003). Portanto, é uma planta que necessita de clima quente, sem a presença de invernos rigorosos, apresentando grande resistência a deficiência hídrica (BARNI et al., 2003).

A mucuna vem sendo cultivada para a adubação verde, como também utilizada como forrageira na alimentação animal, como forma de silagem (CALEGARI, 1995). A época de semeadura indicada é de outubro a fevereiro, com uma produtividade normal esperada de 6 a 8 toneladas ha<sup>-1</sup> de matéria seca (BRAGA et al., 2006), podendo obter uma produção de 35 t ha<sup>-1</sup> de massa verde, com fixação de até 160 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (FERRAZ et al., 2003).

Os benefícios proporcionados pela adubação verde nas características físicas resultam em efeitos positivos sobre as condições biológicas do solo, já que a fitomassa depositada sobre o solo atuará como uma camada térmica do solo, aumentando a retenção de umidade, proporcionando melhorias para a atividade biológica (CALEGARI et al., 1993).

Além desses efeitos, o uso da mucuna como adubação propicia aumentos significativos de produtividade em várias culturas, pois além de proporcionar melhorias na fertilidade do solo, pela ciclagem e fixação biológica do nitrogênio, essa leguminosa quando em sistemas de rotação de cultura atuam como plantas alelopáticas sobre plantas invasoras e populações de nematóides (CALEGARI et al., 1993; CALEGARI, 1995; FERRAZ et al., 2003).

O cultivo de leguminosas para cobertura do solo antecedendo a cultura do milho é uma alternativa viável economicamente, obtendo receita líquida significativamente superior, quando em comparação com o cultivo do milho sem rotação de cultura, além disso, constataram que, dentre as espécies de leguminosas utilizadas, as que mais contribuíram para esse efeito positivo foram a mucuna e o feijão-de-porco (SPAGNOLLO et al., 2001).

#### **2.7.4 Milheto (*Pennisetum glaucum* L.)**

O milheto é uma planta da família das gramíneas com grande adaptação ao Cerrado brasileiro, devido principalmente por adaptar-se a solos com nível de fertilidade baixo e período de estiagem prolongado (SCALÉA, 1999). Esta adaptação a condições adversas está na capacidade dessas plantas em extrair mais nutriente devido ao seu sistema radicular mais profundo em relação a outras gramíneas.

Essas características associadas ao seu rápido crescimento e boa produção de massa e de grãos fazem com que essa planta se apresente como uma das melhores opções para cobertura de solos em áreas sob o sistema plantio direto (MARTINS NETTO, 1998). Esta se destaca com uma cultura potencialmente produtiva para alta qualidade de grãos e ou para produção de silagem para alimentação animal, demonstrando-se superior ao sorgo quanto ao seu estabelecimento em novas áreas de plantio e produção em condições adversas, como a ocorrência de estresse hídrico (WITT; EASTIN, 1995).

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), além disso, ela demonstra uma grande eficiência quanto à transformação de água em matéria seca. Sendo necessários, 282 g de água para a produção de 1 g de matéria seca (LIRA et al., 1983).

Dependendo do fotoperíodo e da disponibilidade de umidade, podem ser alcançadas produções de até 70.000 kg ha<sup>-1</sup> de massa verde (BONAMIGO, 1999), com até 20.000 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca para silagem quando cultivada no início da estação chuvosa. O milheto,

quando cultivada em safrinha, o milho produz em média de 6 a 10 t ha<sup>-1</sup> de massa seca (GUIMARÃES JUNIOR, 2003).

## 2.8 Indicadores de qualidade do solo

A qualidade de um solo é uma característica dependente de sua natureza, dos fatores de formação e da interferência direta e/ou indireta da ação antrópica relacionada ao seu uso e manejo (SANTOS et al., 2008a). Definir qualidade do solo não é simples, porém, os conceitos e definições que se apresentam devem conter e ressaltar seu aspecto funcional. A qualidade do solo é um conceito muito amplo, referindo-se ao equilíbrio existente entre os atributos e condicionantes químicos, físicos e biológicos do solo.

Diante disso, Doran e Parkin (1994) consideraram como qualidade do solo, sua capacidade de funcionar em um ecossistema equilibrado, sustentando a produtividade biológica, com isso, promovendo a qualidade ambiental, além de melhorar a saúde vegetal e animal. Para uma abordagem como esta, deve-se levar em consideração a participação do solo em funções específicas dentro do ecossistema, situação essa dependente da sustentabilidade a longo prazo. Uma vez perdida a qualidade de um solo por qualquer processo de degradação, essa só será restaurada com o restabelecimento de suas funções (D'ÁNDREA et al., 2002).

A avaliação dos indicadores de qualidade e sustentabilidade do solo tem se mostrado um método útil e cada vez mais importante para avaliar a capacidade não apenas do solo, mas do sistema como um todo de se auto sustentar, tornando-se viável no presente e futuro (OLIVEIRA et al., 2007). Além de demonstrar pontos fortes e fracos de um sistema de cultivo, essa corrobora sobre a importância da biodiversidade na manutenção das funções ecológicas.

Para a escolha desses indicadores esta demonstrada a necessidade de identificar o estado de conservação e/ou degradação dos solos (DORAN; ZEISS, 2000), bem como, requerer informações de diversos atributos químicos, físicos e biológicos (GREGORICH et al., 1994). Esses fatores acarretam consequências diretas sobre a atividade biológica do solo, a qual atua sobre diversos processos fundamentais nesse ecossistema (ASSIS et al., 2003), realizando diversos processos primordiais ao solo, como na decomposição de material orgânico vegetal e animal, ciclagem de nutrientes e relações simbióticas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

É de entendimento geral que a biomassa microbiana exerce importante papel dentre as inúmeras características biológicas do solo, já que é fundamental no processo de

decomposição e ciclagem de nutrientes, o que, de acordo com Doran e Linn (1994), pode ser considerada como o melhor e excelente indicador biológico da qualidade do solo.

Inúmeros processos químicos e bioquímicos ocorrem no solo, devido à atividade microbiana, afetando diretamente as propriedades físicas e, principalmente, químicas, refletindo no desenvolvimento das plantas (GARCIA-GIL et al., 2000). A biomassa microbiana representa o compartimento central do ciclo de carbono no solo e, os microorganismos que a compõe são sensíveis a modificações sofridas pelo meio, tornando-se adequados como indicadores biológicos da qualidade do solo.

Com isso, a microbiota do solo se apresenta como o grande e principal responsável pelo fluxo de energia do solo, demonstrando a importância da biomassa microbiana e sua atividade como indicadores sensíveis as alterações na qualidade do solo, causadas principalmente devido ao uso e práticas de manejo (TRANNIN et al., 2007).

A biomassa microbiana pode ser definida como a parte viva da matéria orgânica, representando um total de carbono no solo variando de 2 a 4% (FEIGL et al., 1995), composta por bactérias, fungos e representantes da microfauna (TURCO et al., 1994).

Seu tamanho e composição são diretamente influenciados por fatores como sistema de cultivo e textura do solo (VENZKE FILHO et al., 2008). Para Smith e Paul (1990), a biomassa microbiana apresenta em média, de 2 a 5% do carbono orgânico total do solo, além de 2 até 20 % de fósforo orgânico, valores esses encontrados para solos tropicais.

A biomassa microbiana do solo regula as transformações da matéria orgânica, fixando e disponibilizando nutrientes por meio dos processos de imobilização e mineralização (GONÇALVES et al., 2007). Esta representa o compartimento central do ciclo de carbono no solo que, quando afetada pelas condições edafoclimáticas e da composição dos resíduos vegetais, funcionará como reserva de nutrientes disponíveis ou agentes degradantes da matéria orgânica. Sua estimativa possibilita associações entre os nutrientes imobilizados, a fertilidade e o potencial produtivos dos solos (MERCANTE, 2001).

Uma boa avaliação da atividade microbiana do solo deve estar relacionada com o tamanho de sua biomassa, o que representará a quantidade de matéria microbiana presente e disponível no solo. Diversos métodos atuam como estimadores da grandeza da biomassa microbiana, entre eles, o de medir a quantidade de carbono liberado na forma de CO<sub>2</sub> liberado, a partir de uma amostra de solo (GRISI, 1984). Essa avaliação é fundamental para o fornecimento de informações imediatas sobre mudanças ocorridas nas propriedades orgânicas do solo (SIQUEIRA; MOREIRA, 2006).



Por esse contexto, quantificar o carbono da biomassa microbiana é demonstrar a fração ativa da matéria orgânica, refletindo possíveis mudanças sofridas por ela (FEIGL et al., 1998). A quantificação do carbono liberado pelo CO<sub>2</sub> demonstra em que velocidade esta ocorrendo a disponibilidade de nutrientes para as plantas e perdas de carbono orgânico por parte do solo (D'ANDRÉA et al., 2002).

Sobre isso, Severino et al. (2004) afirmam que medir a respiração por meio da quantificação do carbono de CO<sub>2</sub> liberado é um meio de estimar a atividade dos microorganismos presentes no solo, se apresentando com um indicativo da velocidade com que ocorre a decomposição da matéria orgânica presente nesse sistema, já que todo este processo representará o carbono disponível e prontamente assimilável do solo (DORAN; PARKIN, 1996).

Métodos de avaliação da atividade biológica do solo são imprescindíveis para o monitoramento ambiental e das práticas de manejo adotadas, já que a biomassa microbiana atua sobre a formação e estabilização dos agregados e ciclagem de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2001). No entanto, a interpretação dessas avaliações deve ser realizada de modo criterioso, para evitar erros nas interpretações dos valores sobre a atividade biológica do solo (D'ANDRÉA et al., 2002). Isto é reforçado por Parkin et al. (1996), os quais afirmam que em curto espaço de tempo uma alta atividade respiratória pode indicar liberação de nutrientes as plantas, porém, a longo prazo isso pode significar uma perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera.

Diante desse problema, Anderson e Domsch (1993) propuseram uma nova variável para a avaliação da atividade biológica, a determinação do quociente metabólico  $qCO_2$ , que é a relação entre a quantidade de CO<sub>2</sub> gerado por unidade de carbono da biomassa microbiana ao longo do tempo, sendo este, eficiente na avaliação dos efeitos ambientais e da ação do homem sobre a atividade microbiana no solo. Gama-Rodrigues et al. (1997) estimaram a decomposição de matéria orgânica em solos de floresta pelo quociente metabólico, confirmando sua eficiência como indicador sensível nas alterações da qualidade do solo.

O quociente metabólico indica uma situação de estresse da biomassa microbiana, devido ao fato do quociente expressar a eficiência da biomassa na imobilização do carbono do solo. Por outro lado, o quociente microbiano ( $qCmic$ ) é a porcentagem do carbono da biomassa microbiana em relação ao carbono orgânico do solo, e permite um acompanhamento mais imediato em relação às modificações sofridas pela variação da matéria orgânica total do solo (MERCANTE et al., 2004).

Por apresentar a biomassa microbiana do solo um caráter dinâmico e se correlacionar com a dinâmica da matéria orgânica do solo (GONÇALVES et al., 2007), esta se torna importante para a avaliação dos processos que ocorrem no solo, demonstrando que estudos sobre a quantidade e atividade desse atributo biológico podem fornecer informações primordiais para o planejamento do uso e manejo do solo (D'ANDREA et al., 2002). O estudo da interação dos fatores intrínsecos do solo, como a biomassa microbiana torna-se de relevante importância (GONÇALVES et al., 2007).

## **2.9 Fungos micorrízicos arbusculares**

Os fungos micorrízicos arbusculares são organismos simbiotes obrigatórios que se associam às raízes das plantas terrestres e aquáticas compatíveis, sendo este fundamental para sua multiplicação (KULKARNI et al., 1997). Recentemente classificados pertencentes ao Filo Glomeromycota, na Ordem Glomerales (SCHÜBLER et al., 2003), estes fungos formam associações mutualísticas com as raízes com a grande maioria das plantas, ocorrendo em quase 90% das plantas terrestres, sendo o grau de interação entre os organismos determinado pelo genótipo do vegetal (JANOS, 1988).

Essas associações são caracterizadas pelo crescimento intercelular de hifas no tecido cortical da planta, bem como pela diferenciação de hifas intercelulares em estruturas conhecidas como arbúsculos, os quais são semelhantes aos haustórios (BONFANTE-FASOLO, 1984). Os efeitos benéficos das associações micorrízicas para o desenvolvimento das plantas é bem relatado, sendo o sucesso dessa associação evidenciado pela melhora na nutrição mineral das plantas (SMITH; READ, 1997). Tais efeitos variaram conforme as espécies vegetais e o fungo envolvido, sendo menos significativas em algumas plantas e altamente positivos em outras. As alterações sofridas pela planta são influenciadas por sua resposta à colonização, a qual depende das suas características morfológicas e fisiológicas (KOIDE, 1991).

Em algumas espécies vegetais essa associação é tão importante para a planta que, na ausência total da simbiose, esta não consegue absorver os nutrientes necessários para a sua sobrevivência (SOUZA, 2000). O fungo atua como biorreguladores de crescimento nessas plantas, o que o torna de fundamental importância para o manejo e desenvolvimento de diversas espécies vegetais (ROCHA et al., 2006). Desse modo, o conhecimento da ecologia dos fungos micorrízicos arbusculares e sua simbiose são de fundamental importância para o

manejo das populações nativas, na busca dos benefícios proporcionados às espécies vegetais (ANTONIOLLI et al., 2002).

A principal estrutura do fungo para sua propagação são os esporos e estes são passíveis de manipulação. O micélio externo do fungo é o principal fator benéfico para a planta em simbiose. Pois a estrutura formada por uma grande rede de hifas proporciona uma maior capacidade de absorção de água e nutrientes (ALARCÓN; FERRERA-CERRATO, 1999).

Estas hifas desempenham importante função na sobrevivência, desenvolvimento e nutrição das plantas, sendo estes benefícios mais visíveis quando há situações limitantes de nutrientes disponíveis (PARNISKE, 2008). As hifas são especializadas na absorção de água e nutrientes, disponibilizando-os as plantas e, em troca do fornecimento de “matéria-prima” os fungos recebem carboidratos (FINLAY; FALKOW, 1997).

Os fungos potencializam a absorção de nutrientes, em especial o fósforo, contribuindo para a sustentabilidade do agroecossistema. Os efeitos benéficos dessa absorção são mais visíveis para os nutrientes que apresentam baixa mobilidade como zinco e cobre. Além de apresentarem maiores teores de nutrientes, como fósforo e potássio, dentre outros, as plantas infectadas por micorrizas arbusculares apresentam uma melhor relação água-planta, refletindo em um turgor das folhas mais elevados, maior elasticidade da folha, bem como uma maior taxa de transpiração (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Nesse sentido, os fungos micorrízicos arbusculares estimulam o crescimento das plantas, muito em função do maior incremento na absorção e assimilação de nutrientes em geral, principalmente do fósforo (BERBARA et al., 2006). Por ser o fósforo um macronutriente de pouca mobilidade e, que em solos intemperizados se apresenta com baixos teores, as micorrizas arbusculares assumem papel fundamental na sobrevivência de diversas espécies de plantas que habitam esses locais e que não possuem a capacidade de mobilizar esse elemento (GAMPER et al., 2004).

O ganho na taxa de absorção do fósforo proporcionado pela presença de micorrizas arbusculares são atribuídos ao aumento do volume de solo explorado pelo micélio extraradicular do fungo, que associado ao pequeno diâmetro da hifa, permite alcançar espaços porosos do solo antes não alcançado pelas raízes (BERBARA et al., 2006). Além desses fatores, a produção de enzimas como as fosfatases, auxilia as plantas na solubilização dos grupos fosfatos tornando-os disponíveis a partir de compostos orgânicos, favorecendo sua absorção na forma iônica pelas plantas micorrizadas (MARSCHNER; DELL, 1994).

Deste modo, os fungos micorrizas arbusculares tem a função de proporcionar uma ligação entre as raízes da planta infectada com o solo, por meio da micorrizosfera. Estas atuando como extensões do sistema radicular, melhoram o estado nutricional e fisiológico da planta, favorecendo seu estabelecimento no ecossistema (HAMEL, 1996).

Para a maioria dos vegetais, os fungos tornam-se um importante meio de sobrevivência, pois estes maximizam a absorção de água, melhoram a relação água-planta, favorecem a maior taxa de transpiração e otimizam a absorção de nutrientes, em especial os íons fosfatos, nutriente limitante as produtividades das culturas em geral (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os fungos arbusculares possuem acesso ao carbono fixado pelas plantas hospedeiras, distribuindo-o por toda a rizosfera, favorecendo o aumento da atividade microbiológica em torno das raízes (HAMEL, 1996). Todo o carbono obtido pelo sistema radicular é deslocado pelas raízes por meio de um gradiente de maior para o de menor concentração. É muito provável que a absorção de fósforo inorgânico pelos fungos micorrízicos arbusculares e sua transferência para planta sejam estimuladas pela transferência de carbono da planta para o fungo (BUCKING, 2004).

Fatores relacionados com a fertilidade do solo, no que diz respeito em especial aos teores de fósforo disponível no solo podem influenciar na infectividade e eficiência da micorriza. A colonização micorrízica por fungos arbusculares, geralmente, tende a diminuir, quando os níveis dos nutrientes se encontram acima dos níveis considerados como baixo (PARNISKE, 2008).

Demonstrando a importância dessas associações para os solos tropicais, outros fatores também podem ser mencionados como sendo importantes no sucesso da infectividade pelo fungo, como as aplicações de agrotóxicos, os manejos do solo e de culturas, umidade e temperatura, bem como a compatibilidade desta com o fungo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A diversidade dos fungos micorrízicos arbusculares em condições de campo é realizada pelo método do estudo qualitativo e quantitativo de esporos e associação micorrízica (CÓRDOBA et al., 2002). No entanto, apenas esses valores correspondentes à abundância de esporos no solo não podem ser tomados como único indicativo da associação micorrízica. A ausência de esporos não indica necessariamente que não exista associação na área de estudo, mas um espaço de tempo entre a associação e a esporulação (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O conhecimento da diversidade destes, e sua interação com o meio são pontos básicos e fundamentais para o estabelecimento de um manejo que permita o desenvolvimento da

planta, além da sobrevivência e perenicidade das espécies fúngicas em um determinado ambiente (SILVEIRA, 1998).

Formas de manejo que proporcione aumento da diversidade, bem como da quantidade de hifas extra-radiculares devem ser adotadas, pois, em sua maioria os agroecossistemas não apresentam condições ideais para o ótimo funcionamento dos fungos micorrízicos arbusculares (BERBARA et al., 2006).

Modificações na cobertura vegetal, associado a manejos como mecanização excessiva, alta aplicação de insumos agrícolas como fertilizantes e uso de defensivos agrícolas, além do uso de plantas não hospedeiras alteram a densidade dos fungos micorrízicos. Diante disso, diminui-se a otimização dessa simbiose, provocada pela redução da atividade fúngica em decorrência da baixa diversidade ou da produção de hifas extra-radiculares (AZCÓN-AGUILAR; BAREA, 1997; JEFFRIES et al., 2003)

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área experimental

O experimento foi conduzido numa área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da UNESP-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria (MS), situada nas coordenadas geográficas 20° 22' de latitude Sul e 51° 22' de longitude Oeste, com altitude de 335 m.

A classificação climática da região de acordo com Koppen é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A média anual de precipitação é de 1.232,2 mm e a temperatura média é de 24 °C, sendo janeiro e fevereiro os meses mais quentes (25 °C) e junho e julho os mais frios (20,5°C). O relevo é caracterizado como moderadamente plano, tendo sido o solo predominante classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA, 2006).

#### 3.2 Cultura anterior e caracterização inicial do solo da área

A área apresenta um histórico de cerca de 10 anos sob sistema de plantio direto, sistema mantido para o presente estudo. A cultura instalada anteriormente a condução do experimento foi o milho e, a esta, seguiu o plantio das culturas de cobertura, em seu primeiro ano de estudo. Antes do preparo da área para a implantação da cultura do feijoeiro foi realizada a caracterização química do solo seguindo a metodologia proposta por Raij et al. (2001).

Para isso, uma amostra composta por 20 amostras simples de solo foi coletada na profundidade de 0,20 m em área total do experimento, e as variáveis analisadas foram: fósforo pelo método da resina ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), matéria orgânica total ( $\text{g dm}^{-3}$ ), índice de acidez ( $\text{pH CaCl}_2$ ), potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial ( $\text{H+Al}$ ) e alumínio ( $\text{Al}$ ), soma de bases ( $\text{SB} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$ ), capacidade de troca catiônica [ $\text{CTC} = \text{SB} + (\text{H} + \text{Al})$ ] e saturação de bases ( $\text{V}\%$ ). Os resultados foram os que se seguem:  $\text{pH}$  em  $\text{CaCl}_2$  4,9; matéria orgânica de  $13 \text{ g dm}^{-3}$ , fósforo  $12 \text{ mg dm}^{-3}$ , 1,1; 18 e  $15 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente, para potássio, cálcio e magnésio,  $15 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de acidez potencial, com saturação por bases de 70%. Tomando por

base estes resultados, não foi realizada a correção inicial e adubação de semeadura, comum a todos os tratamentos.

### **3.3 Delineamento experimental**

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados disposto em um esquema de parcelas subdivididas. Os tratamentos foram constituídos pela combinação das plantas de cobertura vegetal (pousio, milho, mucuna-preta, crotalária, guandu, milho + guandu, milho + mucuna-preta e milho + crotalária), caracterizando as parcelas. O pousio era composto por plantas daninhas, em sua maioria gramínea do tipo pé-de-galinha (*Eleusine indica* L).

Diferentes níveis de fósforo (0, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) na forma de monoamônio fosfato (MAP), contendo aproximadamente 9% de nitrogênio e 48% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, foram aplicados à profundidade de 5 cm nos sulcos de semeadura do feijoeiro, caracterizando as subparcelas. No total, foram realizados 24 tratamentos com 3 repetições, com cada subparcela constituída de 7 linhas de 5 m de comprimento, espaçadas 0,45 m entre si.

### **3.4 Plantas de cobertura como fonte de adubo verde**

As plantas de cobertura foram instaladas sem adubação no mês de fevereiro de 2010 e novamente instaladas no mês de fevereiro do ano de 2011, sem adubação, remontando a instalação do ano anterior, ou seja, as parcelas e subparcelas adotadas estavam instaladas no mesmo local. As plantas de cobertura foram implantadas posteriormente a cultura do milho em sistema de semeadura direta, caracterizando os ciclos de sucessão de culturas: milho, planta de cobertura e feijão nos dois anos de estudo, ou seja, iniciando o ciclo de sucessão com a implantação da cultura do milho e terminando o ciclo de rotação/sucessão com a cultura do feijão.

As plantas de cobertura utilizadas foram: a) milho semeado em espaçamento de 0,45 m entre linhas, no total de 20 kg de sementes por ha; b) mucuna-preta, semeada com espaçamento de 0,45 m entre linhas, com 10 sementes por metro linear; c) crotalária juncea, semeada no espaçamento de 0,45 m entre linhas e 35 sementes por metro linear e d) guandu semeada com espaçamento entre linhas de 0,45 m e num total de 15 sementes por metro linear. Para os cultivos consorciados (milho + guandu; milho + crotalária e milho + mucuna-preta), a densidade de semeadura na linha foi à mesma utilizada para o cultivo “solteiro” em ambas as coberturas vegetais adotadas, com linhas intercaladas.

Durante toda a condução do experimento, das plantas de cobertura até a cultura do feijoeiro, foi adotada a prática de irrigação, por um sistema fixo de irrigação convencional por aspersão com vazão dos aspersores de  $3,3 \text{ mm hora}^{-1}$ .

### **3.5 Determinação da massa seca da parte aérea das plantas de cobertura do solo**

Após 70 dias da implantação das plantas de cobertura, foi realizada a dessecação do material orgânico por meio do uso do herbicida glifosato na dose de  $1 \text{ L ha}^{-1}$ . Posteriormente, para a ceifa das plantas de cobertura utilizou-se triturador mecânico. Em maio de 2011, foram coletadas amostras da parte aérea das plantas de cobertura, nas parcelas, após o manejo com triturador mecânico, utilizando o método do quadrado. Para tanto, uma armação de ferro de  $0,50 \times 0,50 \text{ m}$  foi arremessada em dois pontos diferente de cada parcela. Coletando-se a parte aérea das plantas de cobertura no seu interior, enquanto as demais plantas, não utilizadas para a avaliação, ficaram expostas sobre o solo, não sendo incorporadas ao mesmo.

Em seguida, o material vegetal coletado foi lavado para evitar contaminação com o solo e acondicionado em estufa com circulação forçada de ar a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  até atingir massa constante, obtendo-se assim a produção da massa seca da parte aérea das plantas de cobertura, com valores expressos em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

### **3.6 Semeadura e condução do feijoeiro**

A cultura do feijoeiro de inverno foi semeada em maio de 2011, após a dessecação e ceifa do material vegetal das plantas de cobertura anteriormente instalada para ambos os tratamentos.

A adubação de semeadura com nitrogênio e potássio foi uniforme em todos os tratamentos, e realizada de acordo com a análise química do solo apresentada, seguindo recomendações de Ambrosano et al. (1997), com aplicação de  $175 \text{ kg ha}^{-1}$  da fórmula 20-0-20. Foi realizada a correção no fornecimento de nitrogênio utilizando como fonte a uréia (45 %), de maneira que todos os tratamentos recebessem na semeadura a mesma quantidade de nitrogênio.

O cultivar de feijoeiro utilizado foi o Pérola, com plantas do tipo III, de crescimento semiprotrato. Com semeadura realizada mecanicamente no mês de maio de 2011 em sistema plantio direto no espaçamento de  $0,45 \text{ m}$  entre linhas e com sementes suficientes, obtendo-se 12 plantas por metro linear.



### 3.7 Avaliações

Para tanto, em agosto de 2011, uma amostra composta, de cinco amostras simples, de solo foi coletada por subparcela, na profundidade de 0-0,10 m, sendo posteriormente peneirada e homogeneizada. As raízes encontradas foram separadas, lavadas e preservadas temporariamente em álcool 50%, para posterior avaliação da colonização micorrízica.

Estas amostras de solo foram utilizadas para as caracterizações químicas e biológicas do solo (carbono da biomassa microbiana e do CO<sub>2</sub> liberado e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares). Das plantas de feijoeiro se realizou, também, avaliação bioquímica, por meio da quantificação da enzima fosfatase ácida nas folhas das plantas de feijoeiro, a produção de massa seca das plantas de cobertura e a produtividade do feijoeiro.

#### 3.7.1 Caracterização do solo

Parte das amostras coletadas e preparadas foi enviada para a caracterização química, sendo destinados 100 g de solo seco para análise dos atributos químicos, de acordo com Raij et al. (2001), como anteriormente descrito. A outra parte do solo amostrado foi empregada na determinação do número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, os quais foram separados e coletados segundo uma associação dos métodos de decantação e peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) e de centrifugação e flutuação com sacarose (JENKINS, 1964).

Por amostra, 100 g de solo foram misturados em 900 mL de água em um béquer e agitados vigorosamente. Após decantação por alguns segundos, para sedimentação das partículas maiores e/ou mais densas que os esporos, o sobrenadante passou-se por 2 peneiras, com aberturas de 710 e 50 µm, na seqüência da maior para a menor abertura da malha, sendo este procedimento repetido 4 vezes. Com uma pisseta, o material depositado na peneira de 50 µm foi recolhido, transferido para tubos de ensaio e centrifugado por 3 minutos a 302,1 g (gravidade).

Após isto, descartou-se cuidadosamente o sobrenadante e o precipitado suspenso em sacarose 50% para, novamente, ser centrifugado por mais 1,5 minutos. Transferiu-se os esporos presentes no sobrenadante para a peneira de malha 50 µm, lavados com água em abundância para retirar o excesso de sacarose e recolhidos em um béquer pequeno. A contagem dos esporos foi realizada com uma placa de acrílico com anéis concêntricos, sob microscópio estereoscópico (40x).

### **3.7.2 Caracterização biológica**

#### **3.7.2.1 Carbono do CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>) liberado**

Para as avaliações biológicas foram empregadas parte das amostras de solo coletadas e preparadas. Para a quantificação do C-CO<sub>2</sub> liberado utilizou-se 100 g de solo, colocadas em um jarro de vidro com tampa de rosca, e a umidade corrigida para 70% da capacidade de campo. Um frasco contendo 10 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> foi depositado no centro do jarro, o qual foi fechado hermeticamente e mantido em câmara climatizada a 27 °C. O tempo de incubação foi determinado pelo monitoramento de curva de calibração em dias alternados e a quantificação do C-CO<sub>2</sub> liberado foi realizada por meio da titulação com HCl do NaOH remanescente, na presença do indicador fenolftaleína (ANDERSON; DOMSCH, 1989).

#### **3.7.2.2 Carbono de biomassa microbiana (CBM)**

O CBM foi quantificado pelo método de fumigação-extração proposto por Vance et al. (1987), que consistiu na eliminação da microflora do solo pelo clorofórmio com auxílio de uma bomba de vácuo. O carbono liberado pela morte dos microorganismos foi determinado por extração seguida de digestão, pela diferença das amostras não-fumigadas com as fumigadas.

Para a fumigação do solo, utilizou-se 10 g de solo seco para cada tratamento com plantas de cobertura e doses de fósforo. O solo foi acondicionado em recipientes plásticos, os quais foram depositados em dissecador, forradas com papel de filtro umedecido em água, no centro da incubadora foram colocados dois béqueres, um contendo clorofórmio (CHCl<sub>3</sub>) e o outro com água para a fumigação do solo presente na incubadora. Com uma bomba de vácuo, realizou-se o processo de vácuo sobre a incubadora por alguns minutos até a verificação da total vedação por parte da mesma. Após esse processo a incubadora foi colocada em local escuro por um período de 24 horas.

Para a obtenção dos extratos de solo fumigado e não fumigado, as 10 g de solo seco foram transferidas em erlenmeyer, aos quais foram adicionados 40 mL de sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>). Estas foram levadas para agitação por 1 h, a qual foi seguida de decantação por alguns minutos, quando teve início a filtragem do sobrenadante em papel de filtro Whatman n 42.

O carbono microbiano presente nos extratos foi oxidado quando misturado com dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,4 mol L<sup>-1</sup>), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e ácido fosfórico

(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) concentrados. Para o procedimento de oxidação com dicromato de potássio, utilizaram-se tubos de ensaio, aos quais foram colocados na seguinte ordem: 8 mL de extrato de solo, 2 mL de dicromato de potássio, 5 mL de ácido fosfórico concentrado e 10 mL de ácido sulfúrico concentrado. Efetuou-se a digestão colocando os tubos de ensaio em bloco digestor por 30 minutos, a temperatura de 100 °C.

Terminada a digestão e o resfriamento da solução, deram início as leituras por meio de titulação. Para isso foi medido o volume contido nos tubos de ensaio em proveta de 50 mL, completando com água destilada até o total de 40 mL. Essa solução presente na proveta foi transferida para um erlenmeyer, ao qual foram adicionados 4 gotas do indicador difenilamina e procedendo a titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal padronizada.

O excesso de dicromato titulado contra sulfato ferroso amoniacal [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O], revelou a quantidade de dicromato utilizado na oxidação e assim, a quantidade de carbono extraída. O carbono da biomassa microbiana foi determinada pela fórmula:  $B = C_f \cdot C_{nf} / K_{ec}$ , sendo que: C<sub>f</sub> = carbono extraído de solo fumigado, C<sub>nf</sub> = carbono extraído de solo não fumigado e K<sub>ec</sub> = proporção do total de carbono microbiano extraído após fumigação. Os valores do CBM foram expressos em µg C g<sup>-1</sup> solo seco.

### 3.7.2.3 Quociente metabólico (*q*CO<sub>2</sub>)

O quociente metabólico (*q*CO<sub>2</sub>) foi determinado pela razão da atividade microbiana do solo (C-CO<sub>2</sub> liberado) em relação a biomassa de carbono microbiana (CBM), seguindo a metodologia proposta por Anderson e Domsch (1993), expresso em mg CO<sub>2</sub> mg<sup>-1</sup> C dia.

### 3.7.2.4 Quociente do carbono microbiano (*q*Cmic)

O quociente microbiano (*q*Cmic) foi calculado pela expressão (CBM/Corg)/10, seguindo metodologia proposta por Sparling (1992). Para isso foi necessário a obtenção da quantidade de carbono orgânico presente no solo. Isso foi possível devido a análise do teor de matéria orgânica presente nos solos, chegando ao teor de carbono orgânico total, pela divisão da quantidade do teor total da matéria orgânica pelo fator 1,724.

## 3.7.3 Colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares

As raízes das plantas de feijoeiro coletadas juntos com o solo obtido e temporariamente preservadas foram empregadas para a quantificação da colonização

micorrízica. As raízes foram novamente lavadas e 1 g de raiz por amostra foi clarificada em solução de KOH 10%, acidificadas com HCl 1%, coloridas com azul de tripano 0,05 % e preservadas em lactoglicerol (PHILLIPS; HAYMAN, 1970).

A determinação da porcentagem de segmentos colonizados se realizou avaliando 100 segmentos de raízes finas, com cerca de 1 cm de comprimento, por amostra, sob microscópio óptico (40x) em lâminas de vidro, sendo consideradas infectadas as que apresentavam arbúsculos e/ou vesículas, bem como pela presença de hifas intracelulares.

### **3.7.4 Fosfatase ácida da parte aérea do feijoeiro**

O material necessário para as análises da fosfatase ácida foi coletado no dia 15/08/2011, às 8 horas da manhã. Foi coletado um total de 10 folhas do feijoeiro de forma aleatória e das três linhas centrais de cada sub-parcela. Coletou-se a última folha do último trifólio da planta de feijoeiro, que se encontrava entre os estádios de floração e enchimento de grãos. As folhas foram colocadas em recipientes plásticos e, posteriormente, depositadas dentro de uma caixa de isopor para manter-se a temperatura e evitar a perda da atividade da enzima pelo aumento da temperatura.

No laboratório, 0,1 g de folhas, para cada tratamento, cortadas em formato de disco foram colocadas em tubos de ensaio lavados com Extran e secos em estufas. Ao tubo de ensaio foram acrescentados 8 mL da solução tampão. A solução tampão foi preparada, utilizando-se uma solução de ácido acético 0,2 M, pela adição de 2,89 mL de ácido acético em 1 L de água destilada. A solução de ácido acético foi corrigido para pH 5,5 por meio da solução de acetato de sódio, obtida pela adição de 27,716 g de acetato de sódio em 500 mL de H<sub>2</sub>O destilada, adicionando 100 mg de paranitrofenolfosfato e completando para 1 L de solução tampão, metodologia sugerida adaptada de (OLIVEIRA et al., 1999).

A modificação sugerida é em relação à quantidade de paranitrofenolfosfato adotado para o trabalho. Pois o valor adotado de 100 mg para o presente trabalho apresentou os resultados mais consistentes. Já que o valor de 500 mg de paranitrofenolfosfato proposto por Oliveira et al. (1999) e adotado anteriormente, equiparou os resultados obtidos pelos tratamentos com aplicação de fósforo, subestimando alguns tratamentos e superestimando outros.

Os tubos de ensaio contendo a solução tampão e as folhas foram incubadas por 30 minutos em banho-maria, a 30 °C. Após esse período foram retirados 5 mL e colocados em

tubos de ensaio contendo 2 mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH - 2 N), 20 g de NaOH em 250 mL de H<sub>2</sub>O destilada, para posterior leitura.

As leituras foram realizadas em espectrofotômetro em absorbância, com comprimento de onda de 420 nm, uma leitura com água destilada para zerar o aparelho. As leituras das soluções com tratamentos foram realizadas contra uma prova em branco que continha todos os ingredientes exceto extrato de folha. A atividade enzimática determinada por espectrofotometria teve seus valores expressos em  $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  por meio da fórmula: leitura dos tratamentos – prova em branco x 18,4 (fator de extinção molar).

### **3.7.5 Produtividade do feijoeiro**

A colheita do experimento foi realizada manualmente em cada subparcela, quando 95% das vagens apresentaram coloração típica de vagem seca. Foram utilizadas para a avaliação, as plantas do feijoeiro encontradas nas três linhas centrais do suco de semeadura. As vagens foram debulhadas em trilhadora estacionária e as sementes limpas com auxílio de peneiras e acondicionadas em sacos de papel, para posterior pesagem, determinação da umidade e cálculo da produtividade em  $\text{kg ha}^{-1}$  a 13% de umidade (base úmida).

### **3.8 Forma de análise dos resultados**

Foi realizada análise de variância pelo teste F para todos os dados analisados e, para o valor de F significativo, nas comparações de médias de tratamentos foram realizados o Teste de Tukey a 5% de probabilidade, seguido da correlação de Pearson entre as variáveis, com análise de regressão para as médias das subparcelas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Produção de massa seca de parte aérea das plantas de cobertura

Encontrou-se diferença estatística para massa seca da parte aérea das plantas de cobertura instaladas anteriormente à cultura do feijoeiro (Tabela 1). Verificou-se que o melhor consórcio gramíneo-leguminosa quanto à produção de massa seca das plantas de cobertura, foi conseguido pela associação milho + crotalária, muito provavelmente devido à crotalária, que se destacou mesmo em cultivo “isolado”, apresentando boas produções de massa seca em relação às demais plantas de cobertura e não diferindo do consórcio com milho.

Tabela 1 - Teste de comparação de médias, teste F, diferença mínima significativa (DMS), coeficientes de variação (CV%) para a produção de massa seca da parte aérea das plantas de cobertura instaladas anteriormente a cultura do feijoeiro.

Plantas de cobertura	Massa Seca (kg ha <sup>-1</sup> )
Milho	7.800,00bc
Crotalária	8.922,22ab
Guandu	7.722,22bcd
Mucuna	8.300,00abc
Pousio	7.166,66cd
Mi + Gua	7.244,44cd
Mi + Crot	9.544,44a
Mi + Muc	6.488,88d
DMS	1.276,46
Teste F – P	12,21**
CV (%)	10,80

Médias seguidas por mesma letra na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, \*\* significativo a 1 de probabilidade, respectivamente. Em que: mi=milho; gua: guandu; muc: mucuca-preta e crot: crotalária.

Esses resultados se assemelham aos relatados por Perin et al. (2004), que verificaram que o consórcio milho + crotalária foi o que mais produziu massa verde e massa seca entre as plantas avaliadas como culturas de cobertura, afirmando que a responsável direta por essa grande produção foi a crotalária, que contribuiu com 65% da produção da fitomassa. A menor produção de massa seca do milho, no consórcio, pode ser atribuída à competição por recursos naturais, especialmente luz, pois a crotalária apresenta rápido estabelecimento e elevada taxa inicial de crescimento comparado ao milho.

Mesmo não havendo diferença significativa, verificou-se uma tendência, com as maiores produções de massa seca sendo obtidas pelos tratamentos com a presença da crotalária em cultivos em consórcio e “solteiro”, respectivamente. Isso pode ser atribuído ao fato da crotalária possuir uma maior proporção de fitomassa no caule, altamente lignificado e fibroso, com relação C/N de 25:1, valor considerado próximo ao equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização (MONEGATI, 1991).

Portanto, a crotalária além de contribuir significativamente para a fixação biológica de nitrogênio, destaca-se na produção de fitomassa, podendo proporcionar prolongada cobertura do terreno, melhorando as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e, conseqüentemente, a produtividade das culturas subseqüentes.

Os valores observados para a crotalária, no presente trabalho, foram superiores ao relatado por Dourado et al. (2001), que estudando a produção de massa seca da crotalária sob diferentes doses de fósforo, observaram uma produção máxima de 6.000 kg ha<sup>-1</sup> para o tratamento sem aplicação de fósforo. Mesmo com grande capacidade produtiva de fitomassa em solos com pouca ou nenhuma adubação, a crotalária responde bem a adubação, alcançando grandes produções de massa seca com aplicações médias de adubação potássica e fosfatada (COSTA et al., 2006b). Refletindo em possíveis aumentos na produtividade da cultura principal, já que produtividade e massa seca se correlacionaram positivamente.

Resultados diferentes foram encontrados para mucuna e guandu, sendo esta última, a leguminosa com o menor desempenho em relação às outras leguminosas. Para a mucuna foram verificadas boas produções em cultivo “solteiro” da planta, a qual não diferiu da crotalária e do consórcio milho + crotalária (Tabela 1). No entanto, quando em consórcio com milho, o desempenho não ocorreu como no cultivo “solteiro” da planta, sendo encontrado o valor de 6.488,88 kg ha<sup>-1</sup>, o menor obtido para produção de massa seca entre os tratamentos adotados. Esse resultado indica não haver uma relação satisfatória na implantação do consórcio milho + mucuna, já que, comparando-se com as produções das culturas “solteiras”, verifica-se um menor desempenho quando em consórcio (Tabela 1).

## **4.2 Atributos químicos**

Para os atributos químicos do solo na camada de 0 a 0,10 m, não houve diferenças significativas em relação às plantas de cobertura utilizadas, com exceção para teor de fósforo no solo (Tabela 2).

Quanto às doses de  $P_2O_5$  aplicados em semeadura do feijoeiro, verificaram-se diferenças estatísticas em relação aos atributos pH, teor de fósforo e acidez potencial do solo. Quanto à interação plantas de cobertura e doses de  $P_2O_5$ , apenas o teor fósforo no solo apresentou diferença significativa entre as variáveis analisadas. Correlação significativa e negativa foi detectada entre fósforo e pH ( $-0,288^*$ ) e positiva com a acidez potencial ( $0,359^{**}$ ).

Tabela 2 - Teste de comparação de médias, teste F, diferença mínima significativa (DMS), coeficientes de variação (CV%) e análise de regressão com modelo da equação e significância para os atributos químicos, avaliados na camada de 0-0,10 m, em função das plantas de cobertura e doses de  $P_2O_5$  ( $kg\ ha^{-1}$ ) aplicados em semeadura do feijoeiro.

Tratamentos	pH CaCl <sub>2</sub>	MO g dm <sup>-3</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	H+Al mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	CTC mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V (%)
Plantas de cobertura (P)						
Milheto	5,32	25,00	24,33a	27,33	70,56	61,11
Crotalaria	5,35	24,11	20,11ab	24,88	67,39	62,89
Guandu	5,41	25,44	15,44b	25,88	70,53	63,00
Mucuna	5,23	24,22	23,44a	28,00	69,72	59,77
Pousio	5,42	23,66	17,33ab	26,22	71,93	63,88
Mi + Gua	5,50	23,55	20,22ab	24,33	72,90	65,67
Mi + Crot	5,31	23,00	17,00ab	25,33	66,21	60,78
Mi + Muc	5,34	24,66	21,11ab	26,22	71,12	62,66
DMS	0,28	4,05	7,75	4,34	10,62	9,10
Teste F - P	1,88 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>	3,30 <sup>**</sup>	1,60 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>
CV (%)	3,54	11,20	26,07	11,08	10,13	9,73
Doses (D) de $P_2O_5$						
0	5,45a	24,25	15,30c	24,79b	70,52	64,33
60	5,35ab	23,96	19,96b	26,12ab	70,18	62,37
90	5,29b	24,41	24,37a	27,17a	69,43	60,71
DMS	0,13	1,89	3,62	2,08	4,96	4,25
Teste F	4,23 <sup>*</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	18,45 <sup>**</sup>	4,10 <sup>*</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	2,14 <sup>ns</sup>
CV (%)	3,54	11,20	26,07	11,08	10,13	9,73
Modelo Equação	L	--	L	L	-	-
R <sup>2</sup> (%)	99,52	--	96,98	98,58	-	-
Teste F - D	8,42 <sup>**</sup>	--	35,78 <sup>**</sup>	8,05 <sup>**</sup>	-	-
Teste F - P x D	0,56 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>	4,62 <sup>**</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>

Médias seguidas por mesma letra na coluna, para diferentes tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey, respectivamente. <sup>ns</sup> não significativo. Em que: mi = milho; gua = guandu, muc = mucuna-preta e crot = crotalaria.

O resultado para o teor de fósforo no solo assemelha-se aos relatados por Moreti et al. (2007) que, estudando a influência das plantas de cobertura sobre os atributos químicos de um Latossolo Vermelho, observaram aumento nos teores de fósforo do solo em decorrência do uso das plantas de cobertura.

Quanto aos teores de fósforo disponibilizados no solo em função do uso de plantas de cobertura, as plantas de milho e mucuna diferiram estatisticamente do guandu, mas não dos demais tratamentos, incluindo pousio. Apresentando relação significativa com a massa seca da parte aérea das plantas de cobertura adotadas no estudo (Tabela 2).



O resultado observado para o guandu não demonstra a mesma tendência apresentada por Carvalho e Amabile (2006), relatando que as raízes dessa planta exsudam ácidos orgânicos que atuam na solubilização do fósforo ligado ao cálcio, tornando-o disponível no solo, além de que, a mineralização do guandu é mais lenta em relação a outras leguminosas, tornando o elemento disponível por um período maior.

O efeito de uma maior produção de massa seca por parte do milheto e mucuna em relação ao guandu como justificativa para tais resultados foi descartado, pois suas produções de massa seca foram equivalentes, não diferindo estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 1).

Não se evidenciou diferenças estatísticas para teores de matéria orgânica quanto ao uso de diferentes plantas de cobertura (Tabela 2), mesmo havendo diferenças significativas para a produção de massa seca da parte aérea de plantas de cobertura. No entanto, observou-se correlação significativa e positiva da matéria orgânica com a capacidade de troca catiônica ( $0,611^{**}$ ) e saturação por bases do solo ( $0,281^{*}$ ) nas áreas estudadas. Para Loss et al. (2009) o uso de cobertura morta proporcionam melhor desenvolvimento das culturas, que por sua vez adicionam maiores quantidades de resíduos vegetais em superfície e, estes, quando decompostos, contribuem para o aumento do teor de matéria orgânica no solo.

Diferente do presente estudo, Marchiori Júnior e Melo (2000), estudando o uso de plantas de cobertura em sistema plantio direto para aumento do teor de matéria orgânica do solo, observaram alterações positivas nos teores de matéria orgânica decorrente do uso de culturas de cobertura. No entanto, os resultados verificados se assemelham aos encontrados por Steiner et al. (2011), que também relataram não ter encontrado diferenças significativas para matéria orgânica entre manejos adotados com plantas de cobertura, dentre elas mucuna e crotalária, em sistema plantio direto, com três anos de estudo.

Cunha et al. (2011a), estudando a influência de diversas plantas de cobertura, dentre elas guandu e crotalária sobre os atributos químicos, relataram não ter encontrado influência significativa destas em relação aos teores de matéria orgânica do solo para camadas de 0-0,10 e 0-0,20 m ao longo de dois anos de estudo.

O resultado constatado no presente trabalho, com ausência de diferenças significativas para matéria orgânica entre culturas de cobertura, pode ser atribuído ao curto período decorrido da implantação do experimento até suas avaliações. Os teores de matéria orgânica no solo, segundo Xavier et al. (2006), se modificam numa velocidade baixíssima, o que reflete na necessidade de vários anos de plantio direto com cobertura de solo para que seja possível perceber alterações significativas neste atributo.

O pH do solo não foi influenciado significativamente pelas culturas de cobertura na profundidade avaliada de 0-0,10 m (Tabela 2). Dados semelhantes foram relatados por Oliveira et al. (2002) e Steiner et al. (2011), que avaliando atributos químicos de um solo em sistema plantio direto com o uso de plantas de cobertura em sucessão, constataram que valores mais elevados de pH foram verificados na camada mais superficial até 0,10 m. De acordo com os autores, a medida que se aprofunda no perfil do solo, os valores de pH tendem a diminuir, independente do manejo adotado para o solo.

Analisando os tratamentos referentes às doses crescentes de  $P_2O_5$  na semeadura do feijoeiro, observou-se diferenças significativas para o pH, o qual apresentou maior valor no tratamento sem aplicação de fósforo ao solo, que diferiu significativamente da maior dose aplicada, de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ . Verificou-se que a reação do solo, medida por meio do pH, apresentou resposta linear e negativa, observando que, a medida em que se aumenta as doses de  $P_2O_5$  aplicados, diminui-se os valores da reação do solo (Figura 1).

Não foi possível avaliar o efeito das plantas de cobertura sobre a acidez trocável ( $Al^{+3}$ ), pois o valor de pH em  $CaCl_2$  foi superior a 5,0 para todos os tratamentos. De acordo com Raij (1991), nestas condições o  $Al^{+3}$  geralmente encontra-se precipitado sob a forma de hidróxido de alumínio. A acidez potencial teve comportamento contrário ao encontrado para o pH, o que era esperado, e que foi confirmado pela correlação significativa e negativa entre esses dois atributos ( $-0,823^{**}$ ) e da acidez potencial com a saturação por bases do solo ( $-0,712^{**}$ ).

Comportamento diferente foi verificado para a variável acidez potencial e teor de fósforo no solo. Assim, como para pH, houve diferença significativa para doses de  $P_2O_5$  para ambas as variáveis analisadas (Figura 1). Diferentemente do que ocorreu para o pH, ambas as variáveis químicas demonstraram resposta linear, porém positiva as aplicações com diferentes doses de fósforo.

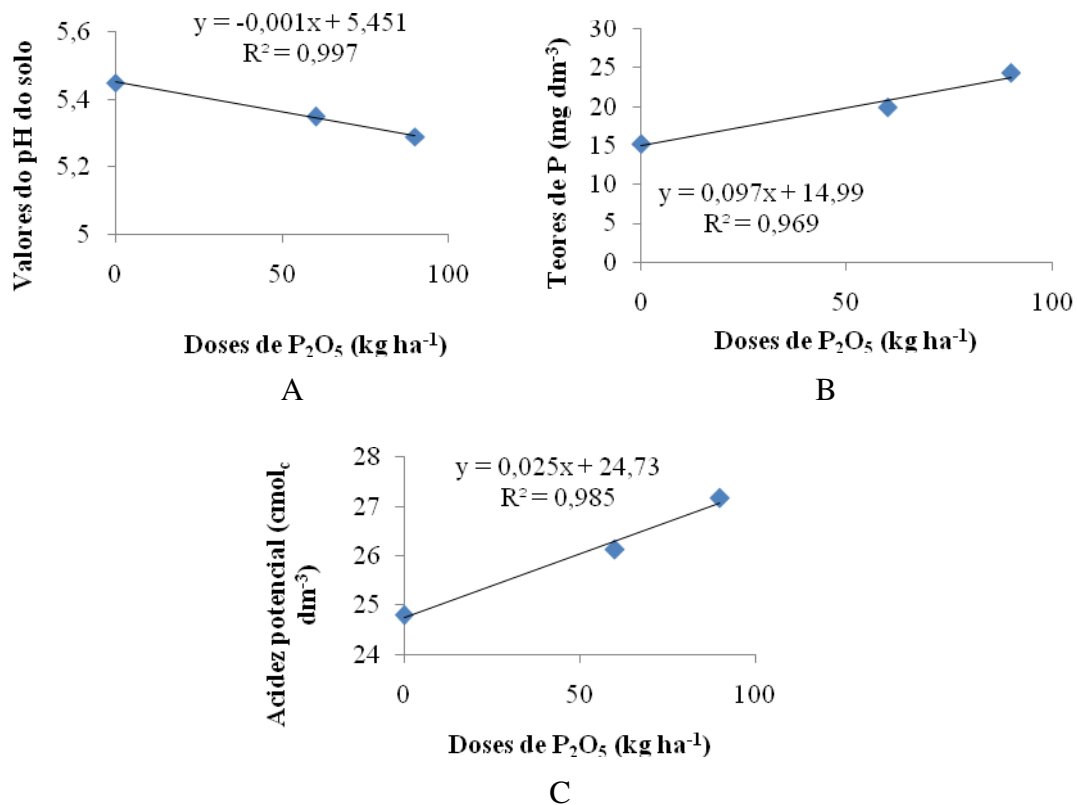
Para a acidez potencial, a dose de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  não se diferiu estatisticamente das doses 0 e  $90 \text{ kg ha}^{-1}$ , porém observou-se uma tendência no aumento da acidez com a aplicação de doses maiores de fósforo ao solo. Quanto aos teores de fósforo disponível no solo, houve diferenças significativas entres todos os tratamentos testados (Figura 1).

Quanto à capacidade de troca catiônica e saturação por bases do solo, estas não foram afetados significativamente pelo uso de plantas de cobertura (Tabela 2). Contudo foi verificada correlação significativa e positiva entre a capacidade de troca catiônica e saturação por bases ( $0,679^{**}$ ) e entre a saturação por bases e o pH do solo ( $0,859^{**}$ ).

A interação entre plantas de cobertura e doses foi significativa para teor de fósforo disponível na solução do solo (Tabela 3), demonstrando a importância das plantas de

cobertura em um sistema de rotação de culturas. Essas plantas, em especial as leguminosas com sistemas radiculares mais profundos, conseguem absorver e assimilar o fósforo, disponibilizando-o posteriormente a sua decomposição na camada mais superficial para a cultura principal em sucessão. A associação dessas com adubações fosfatadas melhoram a produção de fitomassa com aumento na quantidade de material orgânico depositado ao solo, o que pode influenciar em maiores produtividades das culturas subseqüentes de interesse econômico.

Figura 1 - Análise de regressão para: A = reação do solo (pH - CaCl<sub>2</sub>), B = teores de fósforo (P - mg dm<sup>-3</sup>) e C = acidez potencial (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) do solo em função das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg ha<sup>-1</sup>) aplicados em semeadura do feijoeiro.



Fonte: Souza (2012)

As plantas de cobertura se comportaram de modo semelhante quanto a não aplicação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para teores de fósforo disponível no solo (Tabela 3).

Para a dose de 60 kg ha<sup>-1</sup>, houve diferença entre milho + mucuna e milho + crotalária, que não diferiram dos demais tratamentos, proporcionando os maiores e menores valores de fósforo, respectivamente. Isso pode estar relacionado ao fato do consórcio milho + mucuna apresentar-se mais eficiente na remoção, assimilação e disponibilização desse

nutriente ao solo. Para a maior dose de  $P_2O_5$  aplicada, o valor mais elevado de P-disponível no solo foi obtido pela mucuna, seguido do milho.

Analisando os tratamentos com doses crescentes de fósforo dentro de cada planta de cobertura utilizada verificaram-se que, para o milho, houve uma resposta linear e positiva quanto aos teores de fósforo disponível no solo, em relação à aplicação crescente de doses de  $P_2O_5$  por meio da adubação fosfatada (Figura 2A).

Tabela 3 - Desdobramento da interação significativa do teor de fósforo no solo, para as interações entre plantas de cobertura e doses de  $P_2O_5$  ( $kg\ ha^{-1}$ ) aplicados em semeadura do feijoeiro, com respectivos modelos de equação de regressão, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e significância.

Tratamentos Plantas de cobertura	$P_2O_5$ ( $kg\ ha^{-1}$ )			Equação	$R^2$ (%)
	0	60	90		
	P ( $mg\ dm^{-3}$ )				
Milho	14,33a	22,66ab	36,00ab	$Y = 13,0238 + 0,2262.x$ **	89,95
Crotalaria	13,00a	25,00ab	22,33c	$Y = 14,2381 + 0,1175.x$ **	72,97
Guandu	12,66a	19,00ab	14,66c	-	ns
Mucuna	15,66a	16,00ab	38,66a	$Y = 15,66 - 0,4944.x + 0,00833.x^2$ **	100,00
Pousio	12,33a	17,33ab	22,33c	$Y = 11,9761 + 0,10714.x$ *	96,43
Mi + gua	20,66a	18,00ab	22,00c	-	ns
Mi + crot	21,33a	13,33b	16,33c	-	ns
Mi + muc	12,33a	28,33a	22,66bc	$Y = 12,33 + 0,5704.x - 0,00506.x^2$ *	100,00

Médias seguidas por mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. \*\* e \* significativo a 1 e 5%, respectivamente. ns, não significativo. Em que: mi=milho; gua: guandu; muc: mucuna-preta e crot: crotalaria.

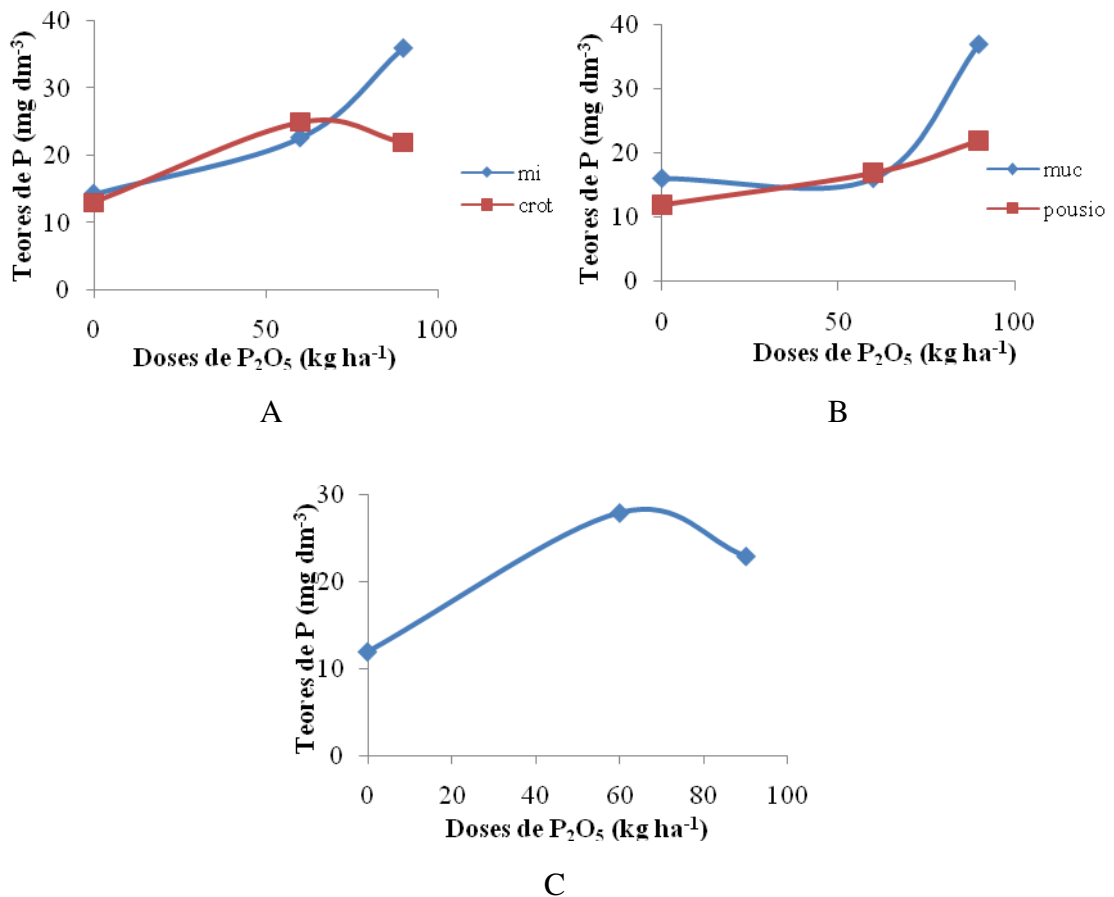
O desdobramento dessa interação para a crotalaria, mostrou um comportamento diferente do encontrado para o milho (Figura 2A). Verificando-se uma resposta linear e positiva entre a menor e a dose de ( $60\ kg\ ha^{-1}$ ) de  $P_2O_5$  aplicado ao solo. No entanto, a partir dessa dose, verificou-se tendência negativa da resposta a aplicação de maiores doses de fósforo em relação aos teores desse nutriente encontrado disponível no solo.

A mucuna se comportou diferentemente do milho e crotalaria quando da interação entre as doses de  $P_2O_5$  aplicada. Pouco ou nenhum incremento de fósforo nos teores deste nutriente no solo foi detectado para as doses 0 e  $60\ kg\ ha^{-1}$ , porém com a aplicação da dose de  $90\ kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  houve um crescimento exponencial dos teores de fósforo (Figura 2B). Este fato pode estar relacionado à decomposição dos restos vegetais da planta por microorganismos presentes no solo, os quais necessitam do nutriente para sua composição e como fonte de energia para suas atividades metabólicas.

Com isso os microorganismos competem com as culturas de valor econômico pelo nutriente disponível na solução do solo, o qual será devolvido ao solo com a morte dos mesmos. Devido ao poder de fixação do solo, um latossolo argiloso, aplicações intermediárias de adubos fosfatos podem não ser suficientes para elevar os teores de fósforo na solução do

solo. Desse modo, a adubação fosfatada em manejos adotados com plantas de cobertura se torna imprescindível para a obtenção de grandes produtividades de grãos.

Figura 2 - Desdobramento da interação entre plantas de cobertura e doses de  $P_2O_5$  ( $kg\ ha^{-1}$ ) aplicados na semeadura do feijoeiro, tendo como plantas de cobertura: A= milho (mi) e crotalária (crot); B= mucuna (muc) como planta de cobertura e pousio (sem planta de cobertura) e C= milho + mucuna.



Fonte: Souza (2012)

No tratamento testemunha, ou seja, o pousio, também se verificou aumento nos teores de fósforo relacionados com o aumento da aplicação de  $P_2O_5$  ao solo, demonstrando um crescimento linear (Figura 2B). Isso pode estar relacionado à composição florística desse tratamento, o qual apresentou plantas de diferentes espécies, porém, em sua maioria gramínea. Este fato pode ter contribuído para uma rápida decomposição dos seus restos vegetais, resultando em menor gasto de energia e conseqüente redução na absorção de fósforo da solução do solo por parte dos microorganismos, com menor competição entre a planta principal e os microorganismos presentes no solo. Assim, as doses crescentes de  $P_2O_5$ , resultaram em maior disponibilidade de fósforo no solo, podendo ter sido aproveitado pela cultura principal.

Para o desdobramento do tratamento milheto + mucuna em relação às doses de fósforo aplicado na semeadura do feijoeiro, verificou-se um comportamento diferente dos demais tratamentos significativos para a interação planta e doses, resultando em uma função quadrática, mostrando uma relação decrescente entre aplicação de fósforo e dos teores deste no solo a partir da dose de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 2C). Observou-se um aumento exponencial do teor de fósforo até a dose de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$ , com menor incremento de fósforo disponível no solo desta até a dose de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ . No entanto, entre a dose de 60 e  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aplicado na semeadura, os teores de fósforo no solo diminuiram.

### 4.3 Colonização micorrízica por fungos arbusculares e número de esporos

A porcentagem de colonização das raízes variou com a dose de fósforo aplicado ao solo e com as plantas de cobertura utilizadas (Tabela 4). Constatou-se uma correlação significativa, porém negativa, entre a colonização por fungos micorrízicos arbusculares e os teores de fósforo disponível no solo ( $-0,288^*$ ).

Não se verificou significância para a interação planta e dose para colonização micorrízica. Em relação às plantas de cobertura, houve diferença significativa entre os tratamentos, destacando milheto + crotalária com 71,55% de porcentagem de colonização das raízes do feijoeiro, valor superior estatisticamente aos encontrados para mucuna e milheto + mucuna (Tabela 4).

A presença de algumas espécies de leguminosas como a crotalária e mucuna-preta, de acordo com Collozi Filho e Balota (1994), favorece a colonização, esporulação e a diversidade de espécies de micorrizas. No presente estudo, porém, a mucuna demonstrou o menor desempenho entre os tratamentos com plantas de cobertura quanto a colonização por fungos micorrízicos. A densidade dos fungos micorrízicos arbusculares nos solos e a eficiência da micorriza nas plantas dependem do manejo desses solos e das culturas utilizadas nos sistemas de produção (MIRANDA; MIRANDA, 2006).

Nos fatores que influenciam a colonização por fungos micorrízicos, destacam-se a disponibilidade de fósforo, sendo os efeitos deste nutriente sobre a colonização, dependentes do hospedeiro (HABTE; MANJUNATH, 1991). Ainda de acordo com esses autores, a concentração de  $0,02 \text{ mg L}^{-1}$  de fósforo na solução do solo é próxima ao ótimo para a colonização e atividade das micorrizas.

Em situações de alta disponibilidade de nutrientes, especialmente de fósforo, as plantas tendem a reduzir a colonização e esporulação (CARDOSO et al., 1986). Fato esse

observado no presente trabalho, verificando menor colonização micorrízica das raízes do feijoeiro pela aplicação de fósforo ao solo, apresentando uma resposta linear e negativa a aplicação crescente de doses de  $P_2O_5$  (Figura 3B).

Diferença estatística foi detectada apenas entre a menor e maior dose aplicada. Resultados que diferem dos relatados por Mello et al. (2008), que avaliando a influência da aplicação de fósforo sobre a colonização micorrízica em diferentes substratos em casa de vegetação, relataram que a intensidade da colonização radicular foi maior com a presença do fósforo aplicado aos substratos, destacando a dose de  $50 \text{ mg P kg}^{-1}$ .

A interação benéfica leguminosa/fungo pode ser observada pelo número de esporos encontrados no solo nos tratamentos com crotalária, mucuna e guandu que diferiram estatisticamente do tratamento milho (Tabela 4). Observou-se elevado número de esporos na crotalária e baixo número no milho.

Esse resultado difere do relatado por Benedetti et al. (2005), que observaram uma produção de esporos nos solos cultivados com milho semelhante a relatada para leguminosas como mucuna, crotalária e guandu anão. No entanto, os resultados do presente estudo se assemelham aos dos autores citados quando ao tratamento pousio, onde cresceram as plantas espontâneas, cuja colonização micorrízica e a produção de esporos foram similares às leguminosas.

Sabe-se, que existem plantas que contêm nos exsudatos radiculares, moléculas capazes de estimular a germinação de esporos e o crescimento de fungos micorrízicos arbusculares. Essas moléculas não são sintetizadas ou são inativadas em plantas não hospedeiras (COLLOZI-FILHO; BALOTA, 1994). No presente trabalho, a mucuna apresentou uma das menores porcentagens de colonização radicular, porém a esporulação foi uma das mais elevadas, comparadas com os demais tratamentos.

As razões pelas quais as leguminosas influenciam a ecologia dos fungos micorrízicos arbusculares são desconhecidas, já que esse grupo de plantas é capaz de produzir uma variabilidade enorme de metabólitos, que exercem efeitos diferenciados sobre os fungos (SAGGIN-JÚNIOR; SIQUEIRA, 1996). É importante salientar que nem sempre o estabelecimento da associação simbiótica garante eficiência micorrízica elevada (HETRICK; WILSON, 1991).

Semelhante à colonização por fungos micorrízicos, a esporulação exibiu resposta negativa e de forma linear as doses de fósforo aplicado ao solo (Figura 3C), com menor número de esporos observados no tratamento com aplicação de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$ , diferindo das demais doses testadas. Mesmo não havendo diferença significativa entre as aplicações das

doses 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, verificou-se uma tendência de menor número de esporos na área com uso de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Tabela 4 - Teste de comparação de médias, teste F, diferença mínima significativa (DMS), coeficientes de variação (CV - %) e análise de regressão com modelo da equação e significância para colonização (COL - %) e número de esporos (n. x 100 g solo seco) de fungos micorrízicos arbusculares, produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) e fosfatase ácida da parte aérea (µg p-NPP g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), avaliados na camada de 0-0,10 m, em função das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg ha<sup>-1</sup>) aplicados em semeadura do feijoeiro e plantas de cobertura.

Tratamentos	COL (%)	Esporos (n. x 100g solo seco)	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Fosfatase (µg p-NPP g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
<b>Plantas de cobertura (P)</b>				
Milheto	68,66ab	41,22e	1.032,26ab	23,85c
Crotalária	68,88ab	146,55a	1.073,07a	28,07a
Guandu	68,44ab	106,66bc	847,90b	25,78abc
Mucuna	51,66b	133,44ab	1.120,24a	26,35abc
Pousio	62,55ab	130,33ab	1.014,64ab	24,42bc
Mi + Gua	62,00ab	75,66d	1.010,04ab	27,66ab
Mi + Crot	71,55a	119,77ab	1.084,50a	27,01abc
Mi + Muc	50,77b	87,77cd	980,65ab	25,65abc
DMS	18,88	29,90	202,50	3,50
Teste F - P	3,62**	27,77**	3,40**	3,60**
CV (%)	20,00	19,00	13,26	8,97
<b>Doses (D) de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>				
0	67,96a	119,00a	1.000,06	27,44a
60	62,50ab	105,46a	1.047,00	25,65b
90	58,75b	91,08b	1.014,16	25,21b
DMS	8,82	13,97	94,62	1,63
Teste F - D	3,23*	11,72**	0,76 <sup>ns</sup>	6,12**
CV (%)	20,00	19,00	13,26	8,97
<b>Modelo Equação</b>				
R <sup>2</sup> (%)	L	L	-	L
Teste F - D	99,31	95,76	ns	97,97
Teste F - D	6,42*	22,44**	0,33 <sup>ns</sup>	12,00**
Teste F - P x D	0,85 <sup>ns</sup>	8,94**	1,04 <sup>ns</sup>	1,66 <sup>ns</sup>

Médias seguidas por mesma letra na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. \*\* e \*: significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. <sup>ns</sup>: não significativo. Em que: mi=milheto; gua: guandu; muc: mucuca-preta e crot: crotalária.

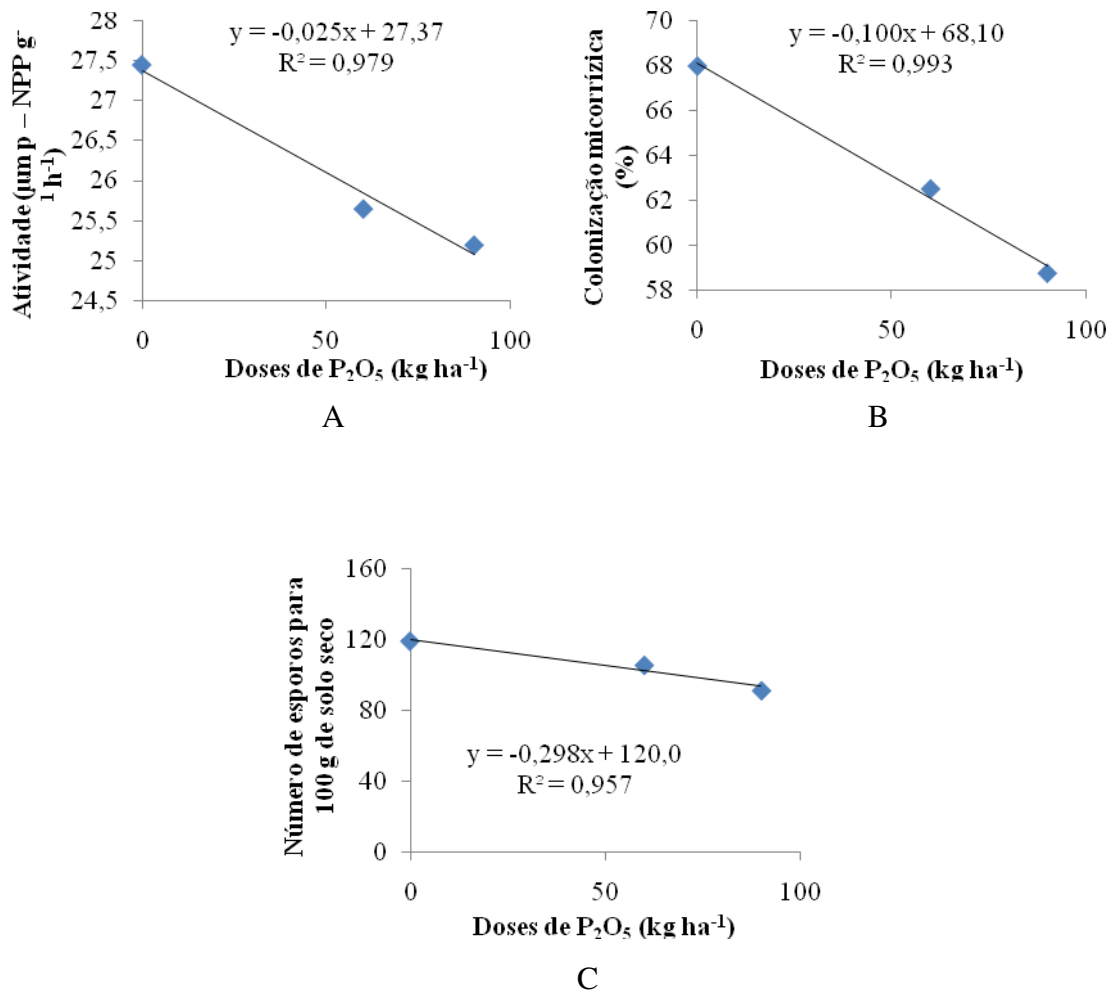
Estes resultados não se assemelham aos observados por Moreira-Souza e Cardoso (2002), os quais afirmaram que a colonização micorrízica e a esporulação em *Araucaria angustifolia* foram influenciadas pela aplicação de fósforo, demonstrando um crescimento linear positivo em resposta as doses de fósforo.

No desdobramento da interação plantas de cobertura x doses de fósforo aplicado, os tratamentos sem aplicação de fósforo apresentaram maior esporulação em todas as plantas de cobertura com exceção da mucuna e milheto + guandu (Tabela 5). Comparando os tratamentos de cobertura sem aplicação de fósforo, observou maior número de esporos para crotalária que diferiu dos demais tratamentos com exceção do guandu, pousio e milheto + crotalária. Desempenho menor foi observado para o milheto.



Comportamento semelhante foi observado pela aplicação de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , com exceção para mucuna, que se destacou entre as culturas de cobertura diferindo dos tratamentos milho e milho + mucuna.

Figura 3 - Análise de regressão para A= atividade enzimática da fosfatase ( $\mu\text{g p - NPP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), B= colonização radicular (%) e C= número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, em função das doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) aplicados na semeadura do feijoeiro.



Fonte: Souza (2012)

Apenas o milho e pousio não se ajustaram matematicamente em resposta às diferentes doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aplicado ao solo para as plantas de cobertura em relação ao número de esporos encontrados nas áreas de produção. A crotalária mostrou uma resposta linear, porém negativa às doses de fósforo, esse decréscimo no número de esporos foi mais acentuada entre o tratamento sem fósforo e a dose  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Comportamento semelhante foi notado para o guandu, com resultados ajustando-se em uma função linear e negativa em decorrência da aplicação de fósforo (Figura 4A).

O tratamento mucuna também apresentou uma resposta linear como à dos tratamentos citados anteriormente, porém de modo positivo, ou seja, as doses de fósforo estimularam a esporulação para esse tratamento (Figura 4B). A maior resposta foi verificada entre os tratamentos com 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sendo que para a dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> o número de esporos foi superior aos da área sem aplicação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Tabela 5).

Em relação ao uso de milho + guandu como culturas de cobertura em consórcio, notou-se uma resposta às aplicações de fósforo que se ajustaram ao modelo de equação do tipo quadrática (Figura 4B). Crescimento inicial foi verificado a partir do tratamento sem aplicação de fósforo com máxima esporulação atingida com a dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ao solo, representando aproximadamente 51% maior. Constatou-se ainda que a partir dessa dose, houve uma tendência de redução na produção de esporos em decorrência da adubação fosfatada, como verificado pela aplicação de 90 kg ha<sup>-1</sup>, assemelhando-se a produção de esporos observada no tratamento sem aplicação de fósforo (Tabela 5).

Tabela 5 - Desdobramento da interação significativa para as diferentes plantas de cobertura entre os diferentes tratamentos com aplicação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para produção de esporos, com respectivos modelos de equação de regressão, coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e significância.

Plantas de cobertura	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )			Equação	R <sup>2</sup> (%)
	0	60	90		
	Esporos (n. x para 100 g de solo seco)				
Milho	54,33c	35,66c	33,66c	-	ns
Crotalária	193,66a	126,66a	119,33a	Y = 189,9285-0,8674.x **	94,17
Guandu	151,66a	107,00ab	61,33bc	Y = 155,0-0,9666.x **	96,19
Mucuna	91,00c	153,00a	156,33a	Y = 94,9523+0,7698.x **	91,92
Pousio	146,66ab	111,00a	133,33a	-	ns
Mi + gua	56,33c	115,33a	55,33bc	Y = 56,33+2,9722.x-0,0331.x <sup>2</sup> **	100,00
Mi + crot	159,33a	136,66a	63,33bc	Y = 168,19-0,9682.x **	78,19
Mi + muc	99,00bc	58,33bc	106,00ab	Y = 99,0-2,188.x+0,0251.x <sup>2</sup> *	100,00

Médias seguidas por mesma letra na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Em que: mi=milho; gua: guandu; muc: mucuna-preta e crot: crotalária.

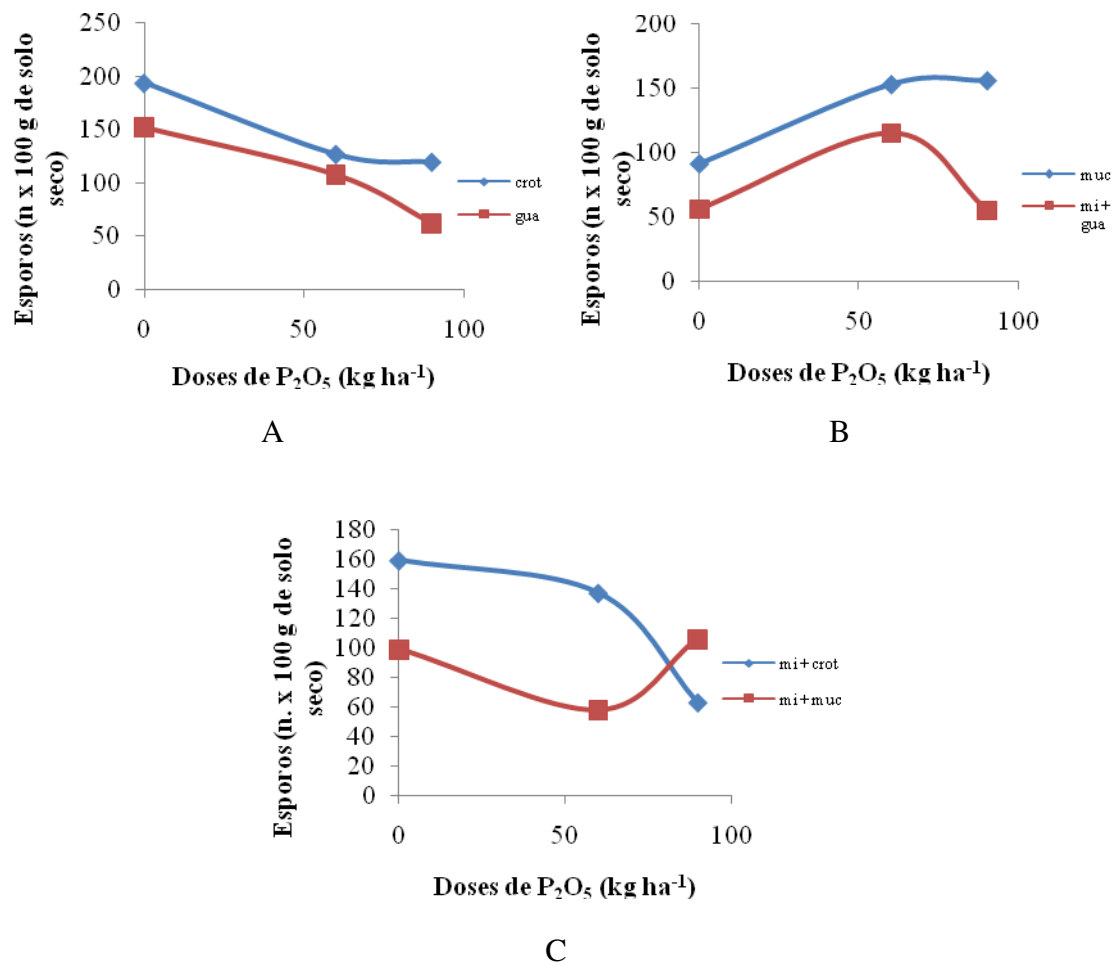
Os tratamentos mucuna e milho + guandu responderam positivamente a aplicação de fósforo, com ganhos de até 50% no número de esporos produzidos em relação a não aplicação de fósforo, sendo que a produção máxima de esporos dos fungos micorrízicos foi verificada na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup>.

Assim como ocorreu no tratamento com o cultivo “isolado” da crotalária, o consórcio milho + crotalária apresentou resposta negativa a produção de esporos pela aplicação de fósforo ao solo, se ajustando ao modelo matemático linear (Figura 4C).

O maior número de esporos foi verificado no tratamento sem aplicação de fósforo. Com a aplicação de fósforo uma queda na produção de esporos foi observada na dose 90 kg

ha<sup>-1</sup>, representando uma quantidade 60% menor ao verificado para a área sem aplicação de fósforo. Esse fato que pode ser atribuído a presença da crotalária no consórcio, pois, esse resultado se assemelhou ao verificado para o seu cultivo “isolado”, e que o milho em cultivo isolado não respondeu resposta às doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado.

Figura 4 - Desdobramento da interação entre planta e doses para número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, para os tratamentos A= crotalária (crot) e guandu (gua), B= mucuna (muc) e milho + guandu (mi + gua) e C= milho + crotalária (mi + crot) e milho + mucuna (mi + muc), em função das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg ha<sup>-1</sup>) aplicados na semeadura do feijoeiro.



Fonte: Souza (2012)

A crotalária quando em consórcio com o milho, apresenta crescimento inicial muito superior, representando 65% da fitomassa produzida para a área em consórcio (PERIN et al., 2003; 2004). Esse fator pode ter contribuído para os resultados constatados para no consórcio milho+crotalária.

O consórcio milho + mucuna exibiram uma resposta à aplicação de fósforo somente a partir da aplicação de 60 kg ha<sup>-1</sup>, com maior produção no número de esporos observada pela maior dose testada, apresentando resposta que se ajusta ao modelo quadrático (Figura 4C).

#### 4.4 Produtividade do feijoeiro

Encontrou-se diferença estatística para produtividade do feijoeiro entre os tratamentos com uso de plantas de cobertura (Tabela 4). Correlação significativa e positiva foi detectada entre a produtividade do feijoeiro e os teores de fósforo no solo ( $0,261^*$ ), bem como entre a produtividade do feijoeiro e a produção de massa seca das plantas de cobertura ( $0,231^*$ ). Também, constatou-se, ainda, que os tratamentos crotalária, mucuna e milho + crotalária diferiram do tratamento guandu, sem, no entanto, diferirem entre si (Tabela 4). Esses resultados se assemelham aos relatados por Arf et al. (1999) e Wutke et al. (1998), que encontraram maior produtividade do feijoeiro de inverno quando cultivado em sucessão a plantas de cobertura, em especial a mucuna-preta.

Esse resultado, no entanto, difere do reportado por Carvalho et al. (2007b), que estudando a influência de diferentes plantas de cobertura, dentre elas mucuna, crotalária, milho e guandu sobre a produtividade do feijoeiro, não encontraram diferença entre os tratamentos de cobertura, em sistema plantio direto sob irrigação.

A cobertura com restos de culturas tem, em muitas situações, disponibilizado mais água às plantas em solos sob sistema de plantio direto (STONE; MOREIRA, 2001), o que pode ocorrer mesmo em sistemas irrigados. Em virtude desse fato, esse sistema pode ter contribuído para a maior eficiência na absorção e retenção de água por parte dos tratamentos com maiores produções de massa seca, o que pode ter contribuído para a produtividade final do feijoeiro, já que essas variáveis se correlacionaram positivamente.

#### 4.5 Fosfatase ácida das folhas do feijoeiro

Houve diferença estatística da atividade da fosfatase ácida do feijoeiro entre plantas de cobertura e entre doses de fósforo, mas não para a interação planta e dose (Tabela 4). A maior atividade da fosfatase ( $28,07 \mu\text{g p-NPP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) foi encontrada nas plantas de feijoeiro cultivada posteriormente a crotalária que, diferiu dos tratamentos milho e pousio.

Diversos trabalhos têm demonstrado relações positivas entre a capacidade da planta em absorver fósforo do solo e a atividade da fosfatase (BESFORD, 1978; MCLACHLAN, 1982), capacidade essa de absorver fósforo do solo que foi associada ao poder de acidificação da região da raiz por parte do vegetal (MCLACHLAN, 1976).

A importância destas respostas diferenciadas está no conhecimento da capacidade de desenvolvimento e produção de determinadas cultivares em solos pobres em fósforo. Sabe-se que a atividade desta enzima aumenta na planta quando cultivada em ambiente com baixas

concentrações de fósforo, ou quando a planta não consegue explorar o fósforo disponível na solução do solo.

A planta de feijoeiro cultivada nas aéreas submetidas anteriormente ao cultivo da crotalária demonstrou valores mais elevados para atividade da enzima fosfatase ácida. Isso pode ser decorrente de uma maior dificuldade na absorção do fósforo inorgânico disponível, pelo não desenvolvimento pleno do seu sistema radicular ou, devido à baixa concentração de fósforo presente na área em questão.

As fosfatases são enzimas adaptativas e a intensificação da sua síntese em plantas é determinada pela necessidade de fósforo para o seu desenvolvimento (OLIVEIRA et al., 1999). Nesse sentido, as leguminosas usadas como culturas de cobertura apresentaram resultados semelhantes entre si, diferindo do milho e pousio, este último formado em sua grande maioria por gramíneas (Tabela 4).

As plantas do feijoeiro, cultivada em sucessão a gramínea como o milho, mostrou maior absorção pelo nutriente fósforo disponível no solo, decorrente de uma menor atividade da enzima presente na planta. Isso pode ter ocorrido devido a estímulos provocado pelos restos vegetais da gramínea ou, as leguminosas usadas como cobertura inibiram o desenvolvimento do sistema radicular das plantas de feijoeiro por algum composto alelopático liberado em decorrência de sua decomposição, ocasionando uma menor eficiência quanto à extração do fósforo inorgânico.

A atividade da fosfatase reduziu significativamente com a aplicação de  $P_2O_5$  em relação à testemunha (Tabela 4), com menor valor obtido na dose de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  que não diferiu da dose  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ . Detectou-se correlação significativa e positiva entre a atividade da fosfatase ácida e a colonização por fungos micorrízicos arbusculares ( $0,340^{**}$ ). Redução da atividade da fosfatase ácida com o aumento no teor de fósforo disponível no solo, como verificado no presente trabalho, foram relatados por Maia-Almeida et al. (2008) e em feijoeiro por Fernandes et al. (2000).

Os resultados da fosfatase quanto às doses de  $P_2O_5$ , apresentaram resposta linear e negativa, ou seja, aumentando-se as doses de  $P_2O_5$  aplicado, verificou-se uma redução da atividade enzimática da fosfatase (Figura 3A). Estes resultados diferem dos encontrados por Fernandes et al. (1998), os quais não observaram diferenças estatísticas entre a atividade da fosfatase ácida em folhas de feijoeiro cultivado com e sem a aplicação de fósforo, atribuindo esse comportamento às alterações metabólicas decorrentes da deficiência de fósforo nas plantas cultivadas sem aplicação desse nutriente.

#### 4.6 Atributos biológicos

Houve diferenças significativas para os atributos biológicos estudados em relação aos tratamentos com plantas de cobertura. Comportamento semelhante ocorreu para os tratamentos com doses de  $P_2O_5$  aplicado ao solo na semeadura do feijoeiro. Com exceção dos teores de C-CO<sub>2</sub> liberado, os atributos apresentaram-se diferentes estatisticamente (Tabela 6). Ainda nesse sentido, verificou-se diferenças estatísticas também para a interação plantas de cobertura e doses de  $P_2O_5$ , para as análises do quociente metabólico e quociente de carbono microbiano.

A atividade biológica, avaliada pela quantidade de C-CO<sub>2</sub> liberado, apresentou diferenças significativas para os tratamentos milho, crotalária e milho+crotalária em relação ao pousio, com valores variando de 9,73 a 11,44 mg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> (Tabela 6). No cultivo “solteiro” do milho, foi superior em 14,95% em relação aos mais baixo encontrado para o pousio. Uma possível hipótese para tal resultado seria uma seleção microbiana quanto à preferência pelo material orgânico vegetal a ser decomposto. No entanto, quanto à produção da massa seca da parte aérea das plantas de cobertura, não se evidenciou diferenças entre o milho e pousio (Tabela 1).

Constatou-se correlação significativa e positiva entre C-CO<sub>2</sub> liberado e o quociente metabólico, teor de matéria orgânica e de fósforo (0,233<sup>\*</sup>; 0,338<sup>\*\*</sup> e 0,340<sup>\*\*</sup>, respectivamente), o que demonstra a importância e influência tanto da matéria orgânica quanto do teor de fósforo para a atividade dos microorganismos do solo.

Estudando a influência de diferentes tipos de manejos, dentre eles a pastagem, a vegetação nativa e o uso de plantas de cobertura no sistema plantio direto sobre a atividade microbiana, Santos et al. (2004) não relataram diferenças entre os tipos de manejo na camada de 0,05-0,10 m. Entretanto, verificaram que ocorreu maior liberação de C-CO<sub>2</sub> em solos com vegetação natural, levando-os a acreditar ser em função da constante incorporação de resíduos.

De acordo com os autores acima, a incorporação de resíduos orgânicos favorece o acúmulo de matéria orgânica, promovendo alta atividade microbiana sobre o material, acarretando aumento na liberação de C-CO<sub>2</sub>. No entanto, esses resultados não se assemelham aos observados no presente estudo, já que para produção de massa seca da parte aérea das plantas de cobertura os tratamentos milho e pousio se assemelharam, diferindo estatisticamente quanto à atividade microbiana.

Tabela 6 - Teste de comparação de médias, teste F, diferença mínima significativa (DMS), coeficientes de variação (CV%) e análise de regressão com modelo da equação e significância para o carbono do CO<sub>2</sub> liberado (C-CO<sub>2</sub>), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólicos (*q*CO<sub>2</sub>), quociente microbiano (*q*Cmic), avaliados na camada de 0-0,10 m, em função das plantas de cobertura e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg ha<sup>-1</sup>) aplicados na semeadura do feijoeiro.

Tratamentos	C-CO <sub>2</sub> (mg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> solo seco dia <sup>-1</sup> )	CBM (µg C g <sup>-1</sup> solo seco)	<i>q</i> CO <sub>2</sub> (mg CO <sub>2</sub> mg <sup>-1</sup> C dia)	<i>q</i> Cmic (%)
<b>Plantas de cobertura (P)</b>				
Milheto	11,44a	414,00a	0,029b	2,985a
Crotalária	11,42a	435,17a	0,029b	3,083a
Guandu	10,14ab	411,11a	0,028b	2,786ab
Mucuna	10,71ab	373,39ab	0,033b	2,654ab
Pousio	9,73b	387,00a	0,026b	2,863a
Mi + Gua	10,97ab	385,89ab	0,030b	2,861a
Mi + Crot	11,40a	228,61b	0,056a	1,760b
Mi + Muc	11,13ab	330,44ab	0,040ab	2,372ab
DMS	1,516	157,898	0,017	1,048
Teste F - P	3,57**	3,46**	6,35**	3,34**
CV(%)	9,32	28,46	34,02	26,22
<b>Doses (D) de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>				
0	10,68	325,73b	0,040a	2,34b
60	10,79	338,06b	0,036a	2,45b
90	11,14	448,31a	0,027b	3,22a
DMS	0,708	73,78	0,008	0,489
Teste F	1,34 <sup>ns</sup>	9,83**	8,00**	11,26**
CV(%)	9,32	28,46	34,02	26,22
Modelo Equação	-	L	L	L
R <sup>2</sup> (%)	ns	66,0	78,70	67,19
Teste F - D	1,44 <sup>ns</sup>	12,97**	12,58**	15,12**
Teste F - P x D	1,73 <sup>ns</sup>	1,51 <sup>ns</sup>	2,40*	2,04*

Médias seguidas por mesma letra na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, \*\* c \*\*: significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. <sup>ns</sup> não significativo. Em que: mi=milheto; gua: guandu; muc: mucuca-preta e crot: crotalária.

O consórcio milho + mucuna, apresentou a menor produção de massa seca da parte aérea para plantas de cobertura, porém a atividade microbiana na área desse tratamento foi semelhante à encontrada para milho e crotalária que apresentaram maiores produção de massa seca da parte aérea (Tabela 6). Demonstrando não ser apenas a incorporação de material orgânico ao solo o principal responsável pelo aumento da atividade microbiana.

Em relação aos tratamentos com aplicação de fósforo na semeadura do feijoeiro, não houve diferenças significativas para a atividade microbiana, apesar de ter sido verificado uma atividade microbiana ligeiramente superior com a aplicação da dose mais elevada de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Tabela 6). Muito provavelmente em função da maior assimilação do fósforo disponível pelos microorganismos, que é um nutriente fundamental a biomassa microbiana, requerendo-o em grandes quantidades.

Para o CBM, maiores valores foram verificados para milheto, crotalária, guandu e pousio, os quais diferiram do tratamento milheto + crotalária, com os valores variando entre 228,61 a 435,17  $\mu\text{g C g}^{-1}$  solo seco (Tabela 6). A biomassa microbiana, por ser a fração viva da matéria orgânica do solo, é considerada um reservatório de nutrientes e, com isso, elevados teores de biomassa microbiana indicam função de reserva, os quais se acumulam grandes quantidades de nutrientes (FEIGL et al., 1995).

Resultados semelhantes foram relatados por Fonseca et al. (2007), os quais não verificaram diferenças significativas para uso de diferentes plantas de cobertura, dentre elas, guandu, mucuna-preta e crotalária em sistema de rotação de cultura com milho e feijão. Valores baixos de CBM, como os relatados para milheto+crotalária, podem estar relacionados possivelmente com uma liberação mais lenta de nutrientes por parte do consórcio de culturas.

Entre os cultivos de cobertura não foram detectadas diferenças estatísticas em relação ao pousio, exceto milheto + crotalária. Houve uma tendência desses tratamentos no aumento da quantidade de CBM, que no geral, superaram o valor de 309,63  $\mu\text{g C g}^{-1}$ , valor este constatado por Araújo et al. (2007) em estudos de CBM em sistema convencional, demonstrando, a importância e a interferência da adoção de um sistema de manejo do solo no aumento ou manutenção de material orgânico sobre o solo, visando a busca por melhorias na qualidade do solo.

Em experimentos com feijoeiro, Cunha et al. (2011b) verificaram, quanto aos teores de CBM na camada de 0-0,10 m do solo, diferenças significativas entre as plantas de cobertura utilizadas e constataram maior influência positiva das plantas de guandu e mucuna, as quais diferiram de crotalária e pousio quanto ao CBM. Esses resultados diferem dos observados no presente estudo, não havendo diferenças significativas para as plantas de cobertura citadas acima.

Silva et al. (2007), comparando diversas culturas de cobertura para o feijoeiro irrigado, no sistema plantio direto e convencional, não encontraram diferença estatística para CBM. Estes autores verificaram ainda que, houve diferença entre os dois sistemas de preparo do solo em relação o CBM, e que essa diferença foi maior do que a observada para o carbono orgânico total, indicando que o CBM é um indicador mais sensível para comparar preparos de solo.

Mesmo não havendo diferenças significativas para a matéria orgânica em relação aos manejos de plantas de cobertura utilizados, tal resultado não se aplicou para o CBM. Resultados esses semelhantes aos reportados por Silva et al. (2009) e por Marchiori Júnior e Melo (2000), de que nem sempre essas duas variáveis estão correlacionados.



Ainda de acordo com ambos os autores acima, os valores de CBM não foram influenciados pelos teores de matéria orgânica do solo, se comportando como variáveis independentes. Tais resultados são discrepantes ao relatados por Stenberg (1999), que afirma haver uma relação estreita entre quantidade de carbono da biomassa com presença da matéria orgânica no solo, ou seja, altas taxas de CBM indicam teores elevados de matéria orgânica, capaz de manter altas taxas de decomposição, reciclando maiores quantidades de nutrientes.

Quanto aos tratamentos com aplicação de fósforo, verificaram-se diferenças significativas da aplicação de 90 kg de  $P_2O_5$  em relação à dose 60 kg  $ha^{-1}$  e o tratamento sem aplicação de fósforo para o CBM, que por sua vez não diferiram entre si (Figura 5A). Os resultados se apresentam em uma equação linear e positiva para aplicação com fósforo.

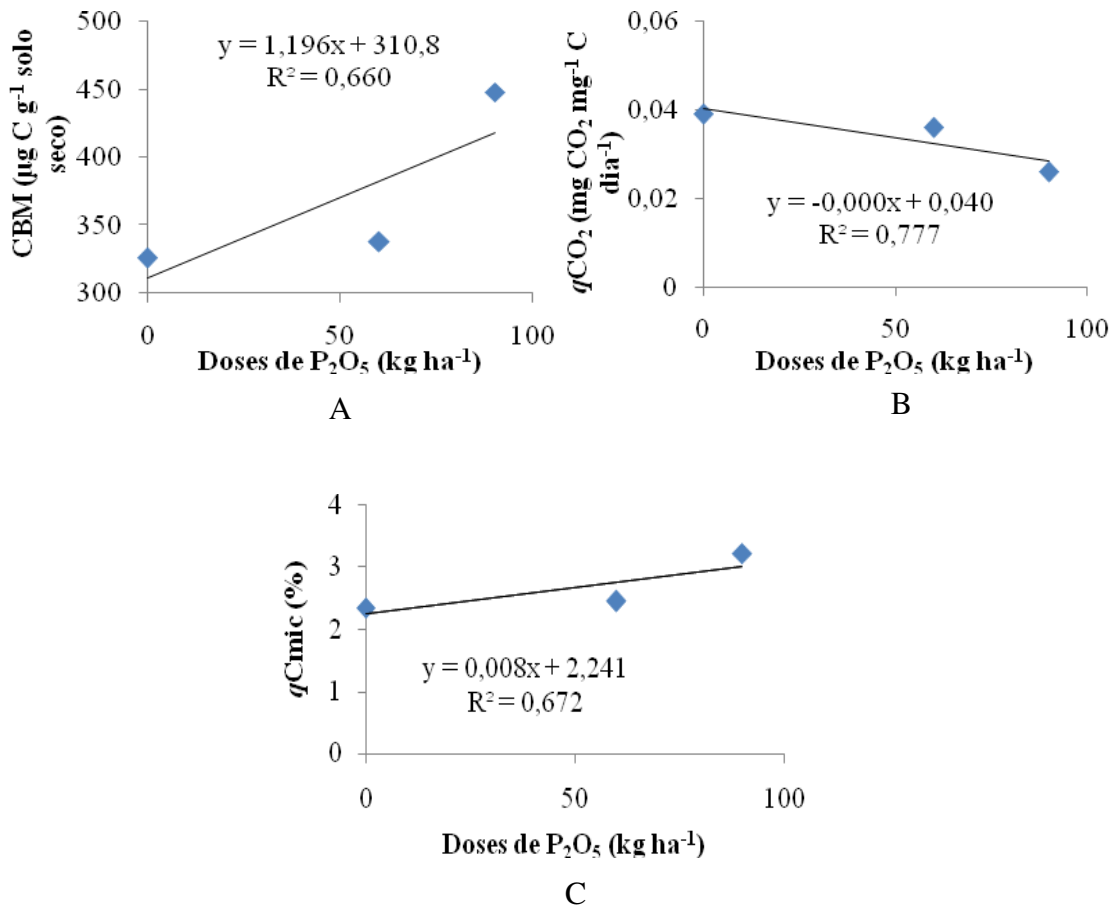
Analisando os tratamentos com aplicação de 60 kg de  $P_2O_5$  e sem aplicação de fósforo, verifica-se uma tendência de aumento na quantificação da biomassa microbiana, sem, no entanto, haver diferenças estatísticas (Tabela 6). Isso pode ser efeito da característica argilosa do solo, que favorece uma maior fixação do fósforo pelo solo devido ao seu poder tampão, diminuindo a resposta desse tratamento, sendo possível verificar diferenças apenas com adubações fosfatadas mais elevadas.

Conte et al. (2002) inferiram que a incorporação de maiores quantidades de fósforo pela biomassa microbiana deve-se a aplicação de adubos fosfatados associados a grandes quantidades de carbono, disponível pelos restos culturais, favorecendo o crescimento da biomassa microbiana.

Quanto ao  $qCO_2$  do solo, observou-se diferenças estatísticas significativas entre milho+crotalária e os demais tratamentos, com exceção do milho + mucuna, com valores entre 0,026 a 0,056 mg  $CO_2$   $mg^{-1}$  C  $dia^{-1}$  (Tabela 6). Constatou-se uma correlação significativa e negativa entre CBM e  $qCO_2$  (-0,862<sup>\*\*</sup>). Estes resultados se assemelham aos relatados por Silva et al. (2007), que verificaram alterações significativas entre os valores do  $qCO_2$  pelo uso de diferentes plantas de cobertura, dentre elas mucuna, crotalária e milho em rotação com feijoeiro sob sistema plantio direto e convencional.

No presente trabalho, com exceção do tratamento milho + crotalária, todos os demais tratamentos com plantas de cobertura apresentaram rendimentos iguais estatisticamente (Tabela 6). Diferindo dos resultados constatados por Cunha et al. (2011b), que estudando o cultivo convencional e plantio direto com uso de guandu, mucuna e crotalária como plantas de cobertura, relataram diferenças significativas entre plantas de cobertura em plantio direto do feijoeiro, com o guandu apresentando o melhor desempenho.

Figura 5 - Análise de regressão para: A = quantidade de carbono da biomassa microbiana (CBM -  $\mu\text{g C g}^{-1}$  solo); B = quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$  -  $\text{mg CO}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ C dia}^{-1}$ ) e C = quociente do carbono microbiano, em função das doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) aplicados em semeadura do feijoeiro.



Fonte: Souza (2012)

Nesse sentido, Bardgett e Sagar (1994) afirmaram que valores elevados de  $q\text{CO}_2$  indicam distúrbios sobre o solo, quase sempre provocados por manejos incorretos, como o preparo convencional do solo. Este promove a quebra dos agregados do solo, tornando a matéria orgânica mais suscetível aos microorganismos, favorecendo o aumento da taxa de mineralização, com conseqüente aumento na liberação de  $\text{CO}_2$ .

O maior valor do  $q\text{CO}_2$  verificado no tratamento milho + crotalaria pode ser um indicativo de uma condição de estresse ou distúrbio. Ou, em função de uma maior relação C/N para o consórcio, associada à maior produção de massa seca da parte aérea das plantas de cobertura, resultou em maior atividade microbiana com conseqüente aumento na liberação de carbono na forma de  $\text{CO}_2$  liberado por unidade da biomassa microbiana.

Em relação aos tratamentos com fósforo, verificaram-se diferenças estatísticas, conseguindo menor valor,  $0,027 \text{ mg CO}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ C dia}^{-1}$  com maior dose de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aplicado

(Tabela 6). Não houve diferença estatística entre os tratamentos sem e com aplicação de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. No entanto, observou-se uma tendência na redução do  $q\text{CO}_2$  pela aplicação de fósforo.

Uma das hipóteses para tais resultados pode ser o aumento do tamanho da população microbiana em função tanto dos maiores teores de fósforo livre no solo, influenciando no aumento de ATP nos microorganismos, como na eficiência da biomassa microbiana, devido à incorporação de grandes quantidades desse nutriente em sua biomassa.

Verificou-se que o quociente metabólico se ajustou em uma função linear com resposta negativa às aplicações de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ao solo (Figura 5B). Resultados que diferem dos relatados por Lourente et al. (2011) que avaliando os atributos biológicos sob plantio direto e sistema convencional em condição de cerrado, constataram correlação significativa e positiva entre o  $q\text{CO}_2$  e os teores de fósforo no solo, indicando que maiores teores de fósforo resultam em maiores valores do  $q\text{CO}_2$ . Portanto, de acordo com os autores, altos teores de fósforo podem proporcionar uma condição de estresse e/ou distúrbio em áreas agrícolas.

Os menores valores desta variável, segundo Gama-Rodrigues (1999), são indicativos de uma biomassa microbiana mais eficiente, ou seja, com menor perda de carbono como CO<sub>2</sub>, pela respiração, com uma fração significativa de carbono incorporado ao tecido microbiano, resultando na diminuição do  $q\text{CO}_2$  (CUNHA et al., 2011b).

Assim, valores baixo do  $q\text{CO}_2$  indicam agroecossistemas estáveis, com melhores qualidades em relação aos seus atributos químicos, físicos e biológicos. Nesse sentido, verificou-se que as áreas sob consórcio milho+crotalária se destacaram negativamente quanto as taxas de  $q\text{CO}_2$ . Demonstrando menor eficiência da biomassa microbiana nessas áreas quanto a utilização dos recursos disponíveis.

A interação plantas e doses foi significativa para o atributo  $q\text{CO}_2$ , verificando-se diferenças estatísticas para os tratamentos 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. No tratamento sem uso de fósforo, o maior valor para  $q\text{CO}_2$  foi observado no consórcio milho+crotalária, que diferiu dos demais tratamentos, com exceção de milho+mucuna e mucuna (Tabela 7).

Para a dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> constatou-se diferenças estatísticas para milho+crotalária em relação à mucuna e pousio (Tabela 7). Esses resultados poderiam ser explicados pela grande produção de massa seca da parte aérea do tratamento milho+crotalária que foi muito superior e significativo em relação ao tratamento milho+mucuna e pousio (Tabela 1). Não se verificou a mesma tendência para o tratamento mucuna. Nesse sentido, uma das hipóteses para os resultados é uma seleção microbiana nas áreas sob o consórcio milho+crotalária.

Analisando o comportamento das respostas das plantas de cobertura em relação aos tratamentos com e sem aplicação de fósforo para o  $q\text{CO}_2$ , observou respostas que se ajustam às equações matemáticas apenas para mucuna em cultivo isolado, e os consórcios milho+crotalária e milho+mucuna (Tabela 7).

Tabela 7 - Desdobramento da interação significativa entre plantas de cobertura e doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para quociente metabólico e quociente microbiano, com respectivos modelos de equação de regressão, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e significância.

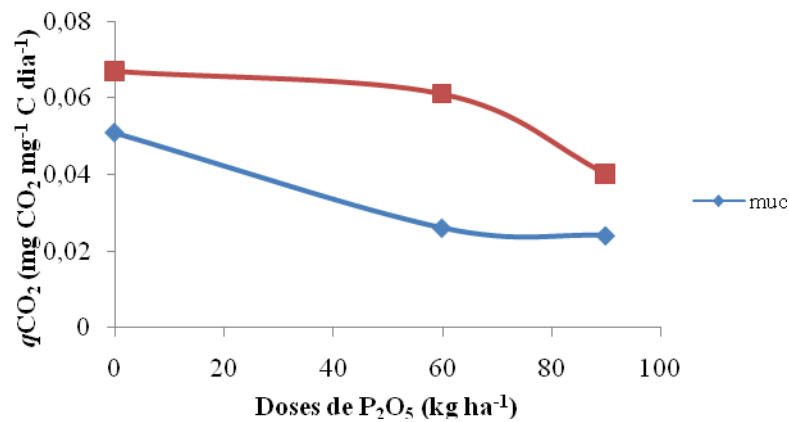
Plantas de cobertura	$\text{P}_2\text{O}_5$ ( $\text{kg ha}^{-1}$ )			Equação	$R^2$ (%)
	0	60	90		
Quociente metabólico ( $\text{mg CO}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ C dia}^{-1}$ )					
Milheto	0,025bc	0,033ab	0,030a	-	ns
Crotalária	0,031bc	0,035ab	0,021a	-	ns
Guandu	0,023c	0,043ab	0,020a	-	ns
Mucuna	0,051abc	0,026b	0,024a	$Y = 0,04926 - 0,000312.x^{**}$	93,7
Pousio	0,023c	0,025b	0,031a	-	ns
Mi + gua	0,034b	0,033ab	0,024a	-	ns
Mi + crot	0,067a	0,061a	0,040a	$Y = 0,069667 - 0,000267.x^*$	75,0
Mi + muc	0,063ab	0,033ab	0,023a	$Y = 0,062738 - 0,000455.x^{**}$	99,4
Quociente microbiano ( $\text{mg de C kg}^{-1}$ de solo)					
Milheto	2,989ab	2,738a	3,229a	-	ns
Crotalária	2,985ab	2,443a	3,822a	-	ns
Guandu	2,810ab	1,751a	3,796a	-	ns
Mucuna	1,613ab	3,056a	3,293a	$Y = 1,68211 + 0,01944.x^{**}$	96,0
Pousio	3,109a	2,917a	2,563a	-	ns
Mi + gua	2,668ab	2,377a	3,536a	-	ns
Mi + crot	1,357ab	1,765a	2,159a	-	ns
Mi + muc	1,233b	2,511a	3,371a	$Y = 1,2017 + 0,02340.x^{**}$	99,4

Médias seguidas por mesma letra na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Em que: mi=milheto; gua=guandu; muc=mucuca-preta e crot=crotalária.

As taxas de  $q\text{CO}_2$  em áreas com cultivos de mucuna como plantas de cobertura apresentou uma resposta linear e negativa quanto as aplicações de fósforo ao solo (Figura 6). Demonstrando uma condição desejada e, proporcionada por meio de adubações fosfatadas.

Para o tratamento em consórcio com milho+crotalária, houve respostas negativas às aplicações de  $\text{P}_2\text{O}_5$  ao solo para o  $q\text{CO}_2$ , com os resultados se ajustando a uma função linear (Figura 6). No entanto, observou-se que melhores respostas são conseguidas com adubações a partir de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ , com menor taxa de  $q\text{CO}_2$  constatado pela aplicação de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$ . Mesmo havendo uma tendência de queda nas taxas do  $q\text{CO}_2$  produzidas em decorrência da atividade microbiana em função da aplicação de doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , verificou-se que o consórcio milho+crotalária apresentou em geral as maiores taxas do  $q\text{CO}_2$  dentre os tratamentos adotados.

Figura 6 - Desdobramento da interação entre plantas de cobertura e doses para quociente metabólico ( $qCO_2$  -  $mg\ CO_2\ mg^{-1}\ C\ dia^{-1}$ ) para os tratamentos mucuna (muc) e milho + crotalaria (mi + crot), em função das doses de  $P_2O_5$  ( $kg\ ha^{-1}$ ) aplicados na semeadura do feijoeiro.



Fonte: Souza (2012)

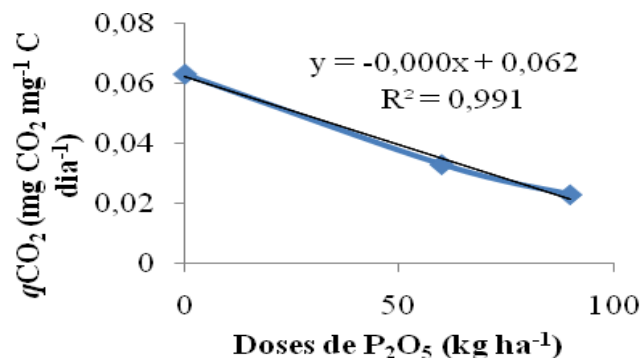
Para o tratamento milho+mucuna, maiores taxas de  $qCO_2$  foram verificadas sem a aplicação de fósforo ao solo, verificando-se a partir do tratamento sem aplicação de fósforo queda na taxa do quociente em função das aplicações de  $P_2O_5$ , que aumentou a disponibilidade do fósforo no solo, facilitando uma maior assimilação por parte dos microorganismos. Diante disso, os resultados apresentados demonstram uma resposta negativa ajustada para uma função linear quanto à aplicação de diferentes doses de  $P_2O_5$  ao solo (Figura 7).

Altos teores de fósforo, de acordo com Tótola e Chaer (2002), podem favorecer uma condição de estresse ou distúrbio ao sistema. Fato não verificado no presente estudo. Aceitando que em áreas com aplicações de fósforo, os teores desse nutriente sejam mais elevados comparadas as áreas sem aplicação, pode-se dizer que altos teores de fósforo contribuíram para a diminuição de algum distúrbio ou estresse sofrido nas áreas submetidas aos tratamentos com aplicação de  $P_2O_5$  para o presente estudo.

A redução nos valores do  $qCO_2$ , para as áreas com plantas de cobertura submetidas a aplicação de fósforo, indicam que a biomassa microbiana está sendo mais eficiente na utilização dos recursos disponíveis, ou seja, está ocorrendo menor perda de carbono em forma de  $CO_2$  por unidade de biomassa.

O  $qCmic$  é a relação entre CBM e carbono orgânico do solo, que em condições normais, varia de 1 a 4%, sendo que valores menores que 1% indicam algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana (JAKELAITIS et al., 2008). No presente trabalho, em todos os tratamentos, os valores para  $qCmic$  foram superiores a 1% e inferiores a 4% (Tabela 6), indicando uma influência positiva das plantas de cobertura sobre a atividade microbiana.

Figura 7 - Análise de regressão da interação entre as plantas de cobertura e dose para quociente metabólico ( $qCO_2$  -  $mg\ CO_2\ mg^{-1}\ C\ dia^{-1}$ ) para o tratamento milheto + mucuna (mi + muc) em função das doses de  $P_2O_5$  ( $kg\ ha^{-1}$ ) aplicados na semeadura do feijoeiro.



Fonte: Souza (2012)

Verificaram-se diferenças significativas para as plantas de cobertura, doses e interação plantas e doses (Tabela 6). Para os tratamentos com culturas de cobertura, houve diferença entre os tratamentos milheto, crotalária, pousio e milheto+guandu em relação à milheto+crotalária. Para a área com milheto+crotalária, houve uma redução de carbono, demonstrada pelo elevado  $qCO_2$  e pelo baixo  $qCmic$ . Correlação significativa e positiva foi verificada entre  $qCmic$  e CBM (0,939\*\*), o que era esperado, visto que são atributos que ocorre em função do outro.

Os valores de  $qCO_2$  encontrados no presente trabalho, diferem dos resultados reportados por Carneiro et al. (2008) que encontraram valores elevados de  $qCO_2$  e baixos de  $qCmic$  para milheto e pousio, em estudos relacionados ao uso de plantas de cobertura sobre a atividade microbiana de solos em sistema plantio direto. No entanto, assemelham-se aos valores obtidos para guandu e crotalária, do presente trabalho (Tabela 6).

Os resultados apresentaram uma resposta linear e positiva a aplicação de fósforo quanto ao  $qCmic$  (Figura 5), observando maiores valores do quociente microbiano em áreas submetidas a adubação fosfatada. Ficou, portanto, demonstrada a importância da adubação fosfata para a atividade microbiana do solo, já que esse elemento é incorporado em grande quantidade pela biomassa microbiana, aumentando sua atividade e eficiência na obtenção de recursos do sistema, conseqüentemente melhorando a qualidade dos solos.

Para a interação entre plantas de cobertura e doses de  $P_2O_5$  quanto ao  $qCmic$  (Tabela 7), foi verificada diferença significativa apenas para o tratamento sem aplicação de fósforo, com maior valor de 3,109 (%) verificado no tratamento pousio, diferindo apenas do tratamento milheto+mucuna com valor de 1,233 (%).

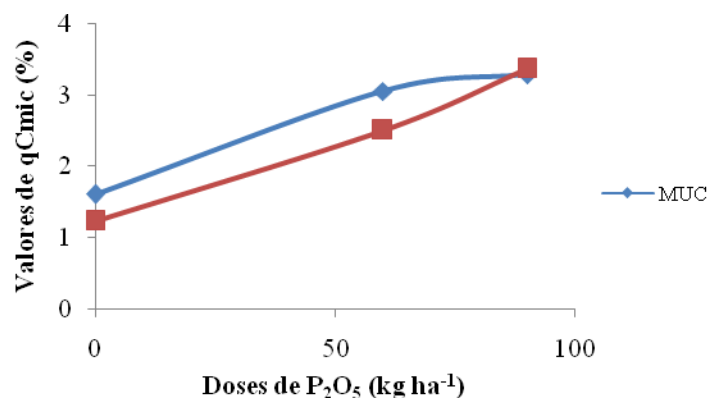
Para áreas em rotação de culturas, segundo Anderson e Domsch (1989), os valores do CBM devem estar situado em torno de 4,0 (%), sendo que acima ou abaixo deste corresponde, respectivamente, a acúmulo ou perda de carbono no sistema. As perdas maiores observadas para as áreas com consórcio milho+mucuna, no tratamento sem aplicação de fósforo, pode ser relacionada a uma estabilidade, com menores perdas de carbono quando comparadas com as plantas de cobertura estudadas (Tabela 6), o que demonstra a importância da escolha da cobertura que propicie melhoria na qualidade do solo.

Analisando os resultados em função das plantas de cobertura em relação aos tratamentos com aplicações ou não de fósforo, verifica-se que apenas os tratamentos mucuna e milho+mucuna exibiram respostas que se ajustaram a modelos matemáticos (Figura 5C).

Para a área utilizada para o cultivo da mucuna como planta de cobertura, posteriormente submetida a diferentes tratamentos com fósforo, constatou-se um aumento nos teores de  $qCmic$  em função das aplicações com fósforo, resultados que se ajustaram em uma função linear de resposta positiva (Figura 8).

Comparando os tratamentos sem aplicação de fósforo e o tratamento com aplicação de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ , observa-se um crescimento mais acentuado, com incremento de quase 50% de carbono microbiano proporcionado pela aplicação de fósforo na dose em questão. A tendência de crescimento continuou para aplicação de maior dose de fósforo, porém com menor incremento de  $qCmic$  ao solo.

Figura 8 - Análise de regressão para quociente de carbono microbiano (%) em função das doses de  $P_2O_5$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) aplicados na semeadura do feijoeiro em sistema plantio direto, tendo como plantas de cobertura mucuna (muc) e milho + mucuna (mi + muc).



Fonte: Souza (2012)

A relação entre carbono microbiano e carbono orgânico ( $qCmic$ ) é um indicador de disponibilidade da matéria orgânica para os microorganismos, e valores maiores deste quociente indicam incremento da sua dinâmica no solo (SAMPALIO et al., 2008). Nesse

sentido, valores maiores para quociente microbiano foram verificados para a área sob consórcio milho+mucuna como plantas de cobertura, indicando um incremento de matéria orgânica no solo.

De acordo com o resultado para o consórcio, as aplicações de fósforo ao solo proporcionaram incrementos nos teores de carbono microbiano (Figura 8). Os resultados ajustaram-se a função linear e positiva, como no tratamento com mucuna, porém, com crescimentos mais proporcionais entre os tratamentos adotados.

Para essa variável biológica, ficou evidente a influência da aplicação de fósforo para o ganho na qualidade do solo, pois o tratamento milho+mucuna foi o consórcio que apresentou a menor produção de massa seca da parte aérea das plantas de cobertura, demonstrando que, apenas o aumento de material orgânico sobre uma área não significa ganhos diretos quanto à qualidade de um solo.

As variações em  $qC_{mic}$  refletem o aporte de matéria orgânica do solo, eficiência da conversão do carbono microbiano, as perdas de carbono do solo e a estabilização do carbono orgânico. Desse modo,  $qC_{mic}$  indica estabilidade ou variação do conteúdo de carbono em função das condições impostas ao sistema (TÓTOLA; CHAER, 2002). Porém, de acordo com Pôrto et al. (2009), esse atributo, da forma como vem sendo determinado, pode apresentar limitações para caracterizar a qualidade do solo em determinadas situações.



## 5. CONCLUSÕES

Após dois anos de cultivo as plantas de cobertura com exceção do teor de fósforo no solo, não diferiram entre si quanto aos seus efeitos nos atributos químicos do solo sob sistema de semeadura direta;

As quantidades totais de massa seca da parte aérea das culturas de cobertura pouco influenciaram na atividade microbiana, demonstrando uma seleção microbiana pelo consórcio milho+crotalária;

As variáveis microbiológicas são sensíveis e respondem às plantas de cobertura e às doses crescentes de adubação fosfatada, tendo as maiores doses de fósforo proporcionado aumentos do CBM e redução do  $qCO_2$ , colonização micorrízica e número de esporos de FMA.

Valores elevados de  $qCO_2$  e baixos de  $qCmic$  foram encontrados para o consórcio milho+crotalária, demonstrando alta atividade nessa área, com perdas de carbono orgânico.

## 6. REFERÊNCIAS

- AE, N.; ARIHARA, K.; OKADA, K.; YOSIHARA, T.; JOHANSEN, C. Phosphorus uptake by pigeonpea and its role in cropping systems of Indian subcontinent. **Science**, Washington, v. 248, n. 2, p. 477-480, 1990.
- AGUIAR, L. M. S.; MACHADO, R. B.; MARINHO-FILHO, J. A diversidade biológica do Cerrado. In: AGUIAR, L. M. S.; CAMARGO, A. J. A. (Ed.). **CERRADO: ecologia e caracterização**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p. 17-40.
- ALARCÓN, A.; FERRERA-CERRATO, R. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. **Terra Latinoamericana**, Chapingo, v. 17, n. 3, p. 179-191, 1999.
- 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.
- ALVARENGA, R. C.; LARA-CABEZAS, W. A.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- ALVES, S. M. C.; ABOUD, A. C. S.; RIBEIRO, R. L. D.; ALMEIDA, D. L. Balanço do nitrogênio e fósforo em solo com cultivo orgânico de hortaliças após a incorporação de biomassa de guandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1111-1117, 2004.
- AMABILE, R. F.; CORREIA, J. R.; FREITAS, P. L.; BLANCENEUX, P.; GAMALIEL, J. Efeito do manejo de adubos verdes na produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 1793-1799, 1994.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 189-197, 2001.
- AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; BULISANI, E. A.; CANTARELLA, H. Feijão. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. p. 194-195. (Boletim Técnico, 100).
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> ( $qCO_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such pH, on the microbial

biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Cambridge, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

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

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N.; JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 867-874, 2000.

ANTONIOLLI, Z. I.; FACELLI, E.; O'CONNOR, P.; MILLER, D.; OPHEL-KELLER, K.; SMITH, S. Spore communities of arbuscular mycorrhizal fungi and mycorrhizal associations in different ecosystems, South Australia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 627-635, 2002.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.

ARF, O.; SILVA, L. D. da; BUZETTI, S.; ALVES, M. C.; SÁ, M. E. de; RODRIGUES, R. A. F.; HERNANDEZ, F. B. T. Efeito da rotação de culturas, adubação verde e nitrogenada sobre o rendimento do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2029-2036, 1999.

ASCENCIO, J. Acid phosphatase as a diagnostic tool. **Communication of Soil Science Plant Nutrition**, New York, v. 25, n. 9/10, p. 1553-1564, 1994.

ASSIS JUNIOR, S. L.; ZANUNCIO, J. C.; KASUYA, M. C. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 35-41, 2003.

AZCÓN-AGUILAR, C.; BAREA, J. M. Applying mycorrhiza biotechnology to horticultura: significance and potentials. **HortScience**, Alexandria, v. 68, n. 1-4, p. 1-24, 1997.

BARDGETT, R. D.; SAGGAR, S. Effects of heavy metal contamination on the short-term decomposition of labeled [ $^{14}$ C] glucose in a pasture soil. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 26, n. 5, p. 727-733, 1994.

BARNI, N. A.; FREITAS, J. M. de O.; MATZENAUER, R.; TOMAZZI, D. J.; JANOTELLI, V.; ARGENTA, G.; SECHIN, J.; DIDONÉ, I. A.; HILEBRAND, G.; BUENO, A. D.; RIBEIRO, S. de S.; TIMM, P. J. **Plantas recicladoras de nutrientes e de proteção do solo, para uso em sistemas equilibrados de produção agrícola**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2003. 84 p. (Boletim, 12).

BARROW, N. J. A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 34, n. 3, p. 733-750, 1983.

BENEDETTI, T.; ANTONIOLLI, Z. I.; GIRACCA, E. M. N.; STEFFEN, R. B. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Botucatu, v. 4, n. 1, p. 44-51, 2005.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. III – fungos micorrízicos arbusculares muito além da nutrição. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p. 53 – 85.

- BESFORD, R. T. Effect of phosphorus supply on acid phosphatase activity in the leaves of tomato plants. **Science Horticulture**, Amsterdam, v. 9, n. 4, p. 303- 309, 1978.
- BESFORD, R. T. Phosphorus nutrition and acid phosphatase activity in leaves of seven plant species. **Journal of the Science Food and Agriculture**, Oxford, v. 30, n. 3, p. 281-285, 1979.
- BEVER, J. K.; MORTON, J. B.; ANTONOVICS, J.; SCHULTZ, P. A. Host-dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a mown grassland. **Journal of Ecology**, London, v. 84, n. 5, p. 71-82, 1996.
- BIELESKI, R. L.; FERGUSON, I. B. Physiology and metabolism of phosphate and its compounds. In: LAUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. **Inorganic plant nutrition**. New York: Springer-Verlag, 1983. p. 422-449.
- BODDEY, R.M.; SÁ, J.C. de M.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 29, n. 5-6, p. 787-799, 1997.
- BONAMIGO, L. A. A cultura do milheto no Brasil, implantação e desenvolvimento no cerrado. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE MILHETO, 5, 1999, Planaltina. **Anais...** Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. p. 31-65.
- BONFANTE-FASOLO, P. Anatomy and morphology of vesicular-arbuscular mycorrhizae. In: POWELL, C. L.; BAGYARAJ, D. J. (Ed.). **VA Mycorrhiza**. Boca Raton : CRC Press, 1984. p. 5- 33.
- BORDIN, L.; FARINELLI, R.; PENARIOL, F.G.; FORNASIERI FILHO, D. Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 417-428, 2003.
- BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 897-903, 2000.
- BRAGA, N. R.; TRANI, P. E.; BULISANI, E. A. **Mucuna-preta**. Campinas: IAC, 2006. 107 p.
- BUCKING, H. Phosphate absorption and efflux of three ectomycorrhizal fungi as affected by external phosphate, cation and carbohydrate concentrations. **Mycological Research**, Cambridge, v. 108, n. 10, p. 599-609, 2004.
- CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1995. 118 p. (Circular, 80).
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; COSTA, M. B. B. da; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. da (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 1993. p. 1-56.
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDER, L. do P.; COSTA, M. B. B. da; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. **Adubação verde no Sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346 p.

- CARDOSO, E. J. B. N.; ANTUNES, V.; SILVEIRA, A. P. D.; OLIVEIRA, M. H. A. Eficiência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em porta-enxertos de citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 25-30, 1986.
- CARNEIRO, J. E. de S. **Alternativas para obtenção e escolha de populações segregantes no feijoeiro**. 2002. 134f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.
- CARNEIRO, M. A. C.; CORDEIRO, M. A. S.; ASSIS, P. C. R.; MORAES, E. S.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de Cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 455-462, 2008
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.
- 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, I. Q.; SILVA, M. J. S.; PISSAIA, A.; PAULETTI, V.; POSSAMAI, J. C. Espécies de cobertura de inverno e nitrogênio na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 8, n.2, p. 179-184, 2007a.
- CARVALHO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; ALVES, M. C.; ARF, O.; SÁ, M. E. Plantas de cobertura, sucessão de culturas e manejo do solo em feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 659-668, 2007b.
- CARVALHO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; ATHAYDE, M. L. F.; ARF, O.; SÁ, M. E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 47-53, 2004.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de Carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.
- 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.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHENHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumulada em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 893- 900, 2003.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida pela aplicação de fosfato em solo 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.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUZA, D. M. G. de. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185- 1191, 2006a.

COSTA, K. A. de P.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; OLIVEIRA, I. P.; HEINEMANN, A. B.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C. Adubação fosfatada e potássica no crescimento e nutrição da *Crotalaria juncea* L. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 827-831, 2006b.

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. 3/4, p. 197-214, 1995.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 13- 24, 2001.

CUNHA, E. Q; STONE, L. F; DIDONET, A. D; FERREIRA, E. P. B; MOREIRA, J. A. A. LEANDRO, W. M. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 1021-1029, 2011a.

CUNHA, E. Q; STONE, L. F; FERREIRA, E. P. B; DIDONET, A. D; MOREIRA, J. A. A. LEANDRO, W. M. Sistema de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II – Atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 603-611, 2011b.

D'ANDRÉA, A. F; SILVA, M. L. N; CURTI, N; SIQUEIRA, J. O; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 913-924, 2002.

DAROLT, M. R. Princípios para implantação e manutenção do sistema. In: DAROLT, M. R. **Plantio direto: pequena propriedade sustentável**. Londrina: IAPAR, 1998. p. 16-45. (Circular IAPAR, 101).

DORAN, J. W; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 15, n. 1, p. 3-11, 2000.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COEMAN, D. C; BEZDICEK, D. F; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (SSSA Special Publication, 35)

DORAN, J. W.; LINN, D. M. Microbial ecology of conservation management systems. In: HATFIELD, J. L.; STEWART, B.A. (Ed.). **Soil biology: effects on soil quality**. Madison: CRC, 1994. p 3-21. (Advances on Soil Science).

DOURADO, M. C.; SILVA, T. R. B.; BOLONHEZIM, A. C. Matéria seca e produção de grãos de *Crotalaria juncea* L. submetida à poda e adubação fosfatada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 287-293, 2001.

DUARTE JUNIOR, J. B. **Avaliação agrônômica da cana-de-açúcar, milho e feijão em sistema de plantio direto em comparação ao convencional em Campos dos Goytacazes-**

RJ. 2006. 284 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal)–Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2006.

DUARTE JUNIOR, J. B.; COELHO, F. C. **Rotação de culturas:** programa rio rural, programa de desenvolvimento rural sustentável em microbacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. Niterói: Secretaria de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento, 2010. 90 p. (Manual Técnico, 22)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa Produção de informação, 2006. 412 p.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. dos. Adubação fosfatada para o feijoeiro em solo de várzea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 124-127, 1998.

FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Balanço de carbono e biomassa microbiana em solos da Amazônia, In: MELO, I. S. de; AZEVEDO, J. L. de (Ed). **Ecologia microbiana.** Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1998. p. 423-441.

FEIGL, B. J.; SPARLING, G. P.; ROSS, D. J.; CERRI, C. C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.27, n.11, p.1467-1472, 1995.

FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N. Frações de fósforo e atividade da fosfatase acida em plantas de feijoeiro cultivadas em solos de várzea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 561-571, 2000.

FERNANDES, M. F.; BARRETO, A. C; EMÍDIO FILHO, J. Fitomassa de adubos verdes e controle de plantas daninhas em diferentes densidades populacionais de leguminosas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1593-1600, 1999.

FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; GUEDES, G. A. A.; LIMA, J. M. Fósforo e atividade da fosfatase ácida em plantas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 5, p. 769-778, 1998.

FERRAZ, S.; LOPES, E. A. Efeito do cultivo de duas espécies de *Mucuna* sobre a população de *Meloidogyne exigua*, *M. incógnita* e *M. javanica*, em casa de vegetação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 24., 2003, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Sociedade Brasileira de Nematologia: Embrapa Semi-Árido, 2003. p. 79.

FINLAY, B. B.; FALKOW, S. Common themes in microbial pathogenicity revised. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, Vancouver, v. 61, n. 5, p. 136-169, 1997.

FIORIN, J. E. Plantas recuperadoras de fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO – FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO. 9. 1999, Cruz Alta. **Resumos...** Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. p. 39-55.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 22-30, 2007.

- GAMA-RODRIGUES, E. F. da. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 227-243.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. BARROS N. F. Biomassa microbiana de carbono e nitrogênio de solos sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3 p. 361-365, 1997.
- GARCÍA-GIL, J. C.; PLAZA, C.; SOLER-ROVIRA, P.; POLO, A. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, n. 13, p. 1907-1913, 2000.
- GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transaction of British Mycological Society**, Cambridge, v. 46, n. 2, p. 234-244, 1963.
- GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 307-313, 1999.
- GONÇALVES, A. S.; MONTEIRO, M. T.; GUERRA, J. G. M.; COSTANTINI, A. O.; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana em amostras umedecidas após secagem ao ar de solos de toposequência de pastagens. **Ciencia del Suelo**, Buenos Aires, v. 25, n. 3, p. 120-129, 2007.
- GAMPER, H.; PETER, M.; JANSKA, J.; LUSCHER, A.; HARTWIG, U. A.; LEUCHTMANN, A. Arbuscular mycorrhizal fungi benefit from 7 years of free air CO<sub>2</sub> enrichment in well fertilized grass and legume monocultures. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, n. 1-2, p. 189-199, 2004.
- GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 74, n. 10, p. 367-375, 1994.
- GRISI, B. M. Metodologia da determinação de biomassa microbiana de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 167-172, 1984.
- GUIMARÃES JÚNIOR, R. **Silagem de milho: uma opção alimentar para ruminantes**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. (Comunicado técnico, 28)
- HABTE, M.; MANJUNATH, A. Categories of vesiculararbuscular dependency of host species. **Mycorrhiza**, Berlin, v. 1, n. 1, p. 3-12, 1991.
- HAMEL, C. Prospects and problems pertaining of the management of arbuscular mycorrhizae in agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 60, n. 2-3, p. 197-210, 1996.
- HARIDASAN, M. Competição por nutrientes em espécies arbóreas do cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J.; FELFILI, J. M. **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 167-178.
- HETRICK, B. A. D.; WILSON, G. W. T. Effects of mycorrhizal fungus species and metalaxil application on microbial suppression of mycorrhizal symbiosis. **Mycologia**, New York, v. 83, n. 22, p. 97-102, 1991.



- JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.
- JANOS, D. P. Mycorrhiza applications in tropical forestry: are temperate-zone approaches? In: NG, S. P. (Ed.). **Trees and mycorrhiza**. Kuala Lumpur: Forest Research Institute of Malaysia, 1988. p. 133-188.
- JEFFRIES, P.; GIANINAZZI, S.; PEROTTO, S.; TURNAU, K.; BAREA, J. M. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 37, n. 1, p. 1-16, 2003.
- JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 73, n. 5, p. 288-300, 1964.
- JENKINSON, D. S.; OCIO, J. A.; BROOKES, P. C. Field incorporation of straw and its effects on soil microbial biomass and soil inorganic N. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 23, n. 1, p. 171-176, 1990.
- JESUS, R. P.; CORCIOLI, G.; DIDONET, A. D.; BORGES, J. D.; MOREIRA, J. A. A.; SILVA, N. F. Plantas de cobertura de solo e seus efeitos no desenvolvimento da cultura do arroz de terras altas em cultivo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 4, p. 214-220, 2007.
- JOHANSEN, C. Pigeonpea: mineral nutrition. In: NENE, Y.L.; HALL S.D.; SHEILA, V.K. (Ed.). **The pigeonpea**. Wallingford: CAB International, 1990. p. 209-231.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1. n. 1, p. 147-155, 2005.
- KOIDE, R. T. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. **New Phytologist**, Cambridge, v. 117, n. 2, p. 365-386, 1991.
- KULKARNI, S. S.; RAVIRAJA, N. S.; SRIDHAR, K. R. Arbuscular mycorrhizal fungi of tropical sand dunes of west coast of India. **Journal of Coastal Research**, Miami, v. 13, n. 3, p. 931-936, 1997.
- LEIHNER, D. **Yuca en cultivos asociados**: manejo e evaluación. Cali: Ciat. 1983. 80 p.
- LIRA, M. de A.; MACIEL, G. A.; TABOSA, J. N.; ALVES, M. R.; SANTOS, J. P. de O.; FREITAS, E. V. de; ARCOVERDE, A. S. **Cultivo do milho (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke)**. Recife: IPA, 1983. 6 p. (Instruções Técnicas, 8).
- LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; TEIXEIRA, M. B.; LIMA, F. M.; OLIVEIRA, A. B.; CRUZ, R. B. Frações orgânicas do solo em áreas sob manejo agroecológico em Capivari, Duque de Caxias, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 3, p. 245-251, 2009.

- MAESEN, L. J. G. van der Pigeonpea: origin, history, evolution, and taxonomy. In: NENE, Y.L.; HILL, S.H.; SHEILA; V.K. **The pigeonpea**. Oxford: CAB International/ International Crops Research Institute for the Semi Arid Tropics, 1990. p. 15-46.
- MAIA-ALMEIDA, C. I.; PARON, M. E.; CÉZAR, V. R. S.; FERNANDES, D. M.; FERNANDES, L. A.; MING, L. C. Efeito de níveis de fósforo no crescimento inicial, biomassa e atividade in vivo da fosfatase ácida em *Lychnophora ericoides* Mart. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 96-103, 2008.
- MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1177-1182, 2000.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic, 1995. 889 p.
- MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient-uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 159, n.1, p. 89-102, 1994.
- MARSHALL, A. J.; GALLAHER, R. N.; WANG, K. H.; MCSORLEY, R. Partitioning of dry matter and minerals in sunn hemp. In: SANTEN, E. van (Ed.). **Making conservation tillage conventional: building a future on 25 years of research**. Alabama: Alabama Agriculture Experimental Station, 2002. p. 310-313.
- MARTINAZZO, R.; SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 563- 570, 2007.
- McLACHLAN, K. D. Comparative phosphorus responses in plants to a range of available phosphorus situation. **Australian Journal of Agriculture Research**, Melbourne, v. 27, n. 6, p. 232-241, 1976.
- McLACHLAN, K. D. Leaf acid phosphatase activity and the phosphorus status of field-grown wheat. **Australian Journal Agriculture Research**, Melbourne, v. 33, n. 4, p. 453-464, 1982.
- MELLO, A. H.; KAMINSKI, J.; ANTONIOLLI, Z. I.; SANTOS, L. C.; SOUZA, E. L.; SCHIRMER, G. K.; GOULART, R. M. Influência de substratos e fósforo na produção de mudas micorrizadas de *Acacia mearsii* de Wild. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 325-331, 2008.
- MERCANTE, F. M.; FABRICIO, A. C.; MACHADO, L. A. Z.; SILVA, W. M. **Parâmetros microbiológicos como indicadores da qualidade do solo sob diferentes sistemas integrados de produção agropecuária**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. 27 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 20).
- MERCANTE, F. M. Biomassa e atividade microbiana: indicadores da qualidade do solo. **Direto no Cerrado**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 9-10, 2001.
- MEURER, E. J.; RHENHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômeno de sorção em solos. In: MEURER, J. E. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 131-179.

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. Micorriza arbuscular e uso de adubos verdes em solos do Bioma Cerrado. In: CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina: Embrapa Cerrado, 2006. p. 69-123.

MOLTOCARO, R. C. R. **Guandu e micorriza no aproveitamento do fosfato natural pelo arroz em condições de casa-de-vegetação**. 2007. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2006.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó: ACARESC, 1991. 337 p.

MONTANARI, R.; CARVALHO, M. de P.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, F. C.; LOVERA, L. H.; HONORATO, M. A. de O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1811-1822, 2010.

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

MOREIRA-SOUZA, M.; CARDOSO, E. J. B. N. Dependência micorrízica de *Araucária angustifolia* (Bert) O. Ktze. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 905-912, 2002.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; CARVALHO, M. P. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 167-175, 2007.

MARTINS NETTO, D. A. **A cultura do milheto**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1998. 6 p. (Comunicado Técnico, 11).

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV/DPS, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência a penetração de um Latossolo Vermelho da microrregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 265-270, 2007.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos de ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p. 393-486.

OLIVEIRA, J. R. A.; MENDES, I. C.; VIVALDI, L. Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 863-871, 2001.

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

OSTERROHT, M. V. O que é a adubação verde: princípios e ações. **Agroecologia**, Botucatu, v. 2, n. 14, p. 9-11. 2002.

- PARKIN, T. B.; DORAN, J. W.; FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J. W.; JONES, A. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 231-245.
- PARNISKE, M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. **Nature**, London, v. 6, n. 2, p. 763-775, 2008.
- PELÁ, A.; SILVA J. S.; RODRIGUES E. M.; MELLO G. P. Plantas de cobertura e adubação com NPK para o milho em plantio direto. **Scientia Agrária**, Piracicaba, v. 11, n. 5, p. 371-377, 2010.
- PEREIRA, A. J. **Produção de biomassa e de sementes de *Crotalaria juncea* a partir de diferentes arranjos populacionais e épocas do ano**. 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2004.
- PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 35-40, 2004.
- PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G. Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 7, p. 791-796, 2003.
- PÔRTO, M. L.; ALVES, J. C.; DINIZ, A. A.; SOUZA, A. P.; SANTOS, D. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no Brejo Paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1011-1017, 2009.
- PHILLIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots for rapid assessment of infection. **Transaction of British Mycology Society**, Cambridge, v. 55, n. 1, p. 158- 161, 1970.
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 1999. 549 p.
- QUEIROZ, L. R. **Leguminosas como fonte de nitrogênio para a cultura do milho, em Campos dos Goytacazes, RJ**. 2006. 72 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Goytacazes, 2006.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/Potafos, 1991. 343 p.
- RAO, M. R; COLEMAN, S. W; MAYEUX, H. S. Forage production and nutritive value of selected pigeonpea ecotypes in the southern Great Plains. **Crop Science**, Madison, v. 42, n. 4, p. 1259-1263, 2002.
- REID, M. S.; BIELESKI, R. L. Changes in phosphatase activity in phosphorus-deficient Spirodela. **Planta**, Berlin, v. 94, n. 3-5, p. 273-281, 1970.

- RHAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Stanford, v. 50, n. 2-3, p. 665-693, 1999.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 151-160, 2001.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 34, n. 15/16, p. 2339-2354, 2003.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, O.; FLORES, A. Organic and inorganic phosphorus as characterized by phosphorus-31 nuclear magnetic resonance in subtropical soils under management systems. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 33, n. 13/14, p. 1853- 1871, 2002.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. 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, 2000a.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 345-354, 2000b.
- REIS, G. N.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. da; GERLACH, J. R.; CORTEZ, J. W.; GROTTA, D. C. C. Decomposição de culturas de cobertura no sistema plantio direto, manejadas mecânica e quimicamente. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 194-200, 2007.
- RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S.; RATTER, J. A.; SOUSA-SILVA, J. C. Ocupação do bioma Cerrado e conservação da sua diversidade vegetal. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Org.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 383-399.
- ROCHA, F. S.; SAGIN JUNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R.; LIMA, W. L. Dependência e resposta de mudas de cedro a fungos micorrízicos arbusculares, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 77-84, 2006.
- RODRIGUES FILHO, F. S. O.; GERIN, M. A. N.; FEITOSA, C. T.; IGUE, T.; SANTOS, R. R. Adubação verde e orgânica para o cultivo do amendoim (*Arachis hypogaea* L.). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 53, n. 1, p. 88-93, 1996.
- ROTH, C.; VIEIRA, M. J. Infiltração de água no solo. **Plantio Direto**, Ponta Grossa, v. 1, n. 3, p. 4, 1983.
- SAGGIN-JUNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: Siqueira, J.O. (Ed.) **Avanços em fundamentos e aplicações de micorrizas**. Lavras-MG: Universidade Federal de Lavras, 1996. p. 203-254.
- SAMPAIO, D. B.; ARAÚJO, A. S. F. de; SANTOS, V. B. dos. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 353-359, 2008.

- SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo 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, V. B.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; SILVA, D. G. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 10, n. 3, p. 333-338, 2004.
- SANTOS, H. P.; REIS, E. M. **Rotação de culturas em plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo. 2001. 212 p.
- SCALÉA, M. J. Perguntas & respostas sobre o plantio direto. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 3, n. 83, p. 1-8, 1999 (Encarte Técnico).
- SCHÜBLER, A.; SCHWARZOTT, D.; WALKER, C. A new fungal phylum, the glomeromycota: phylogeny and evolution. **Mycological Research**, New York, v. 105, n. 12, p. 1413- 1421, 2003.
- SCIVITTARO, W. B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P. C. O. Utilização de nitrogênio de adubos verde e mineral pelo milho. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 917-926, 2000.
- SEIFFERT, N. F.; THIAGO, L. R. L. **Legumineira**: cultura forrageira para produção de proteína. Campo Grande: EMBRAPA Gado de Corte, 1983. 52 p. (Circular Técnica, 13).
- SEVERINO, L. S. et al. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 650-655, 2004.
- SILVA, M. S. C. **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais em Paraty, RJ**. 2006. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.
- SILVA, J. A. A.; DONADIO, L. C.; CARLOS, J. A. D. Adubação verde em citros. **Boletim Citrícola**, Jaboticabal, v. 1, n. 9, p. 1-35, 1999.
- SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Plantio direto no cerrado. In: PEIXOTO, R. T. dos G.; AHRENS, D. C.; SAMAHA, M. J. (Ed.). **Plantio direto**: o caminho para uma agricultura sustentável. Ponta Grossa: IAPAR; PRP/PG, 1997. p. 158-184.
- SILVA, L. G.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de Cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 6, p. 613-620, 2009.
- SILVA, M. B.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 12, p. 1755-1761, 2007.
- SILVEIRA, P. D. D. Ecologia de fungos micorrízicos arbusculares. In: MELO, I. S. D.; AZEVEDO, J. A. (Ed.) **Ecologia microbiana**. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, 1998. p. 61-86.
- SKERMAN, P. J.; RIVEROS, F. **Gramíneas tropicales**. Roma: FAO, 1992. p. 627-635.

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

SMITH, J. L.; PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J.; STOTZKY, D. G. (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1990. v. 6, p. 357-396

SOUZA, F. A. **Banco ativo de glomales da Embrapa agrobiologia**: catalogação e introdução de novas isoladas desde 1995. Seropédica: Embrapa agrobiologia, 2000. 40 p.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A.; AVILA, F. W. Nutrição fosfatada e rendimento do feijoeiro sob influência da calagem e adubação orgânica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 4, p. 656-664, 2006.

SPAGNOLLO, E. Leguminosas estivais intercalares como fonte de nitrogênio para o milho, no Sul do Brasil. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 417-423, 2002.

SPAGNOLLO, E.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; NADAL, R. Análise econômica do uso de leguminosas estivais intercalares a cultura do milho, na ausência e na presença de adubação nitrogenada, no oeste de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 709-715, 2001.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 30, n. 2, p. 195-207, 1992.

STEINER, F.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G. Atributos químicos do solo em diferentes sistemas de culturas e fontes de adubação. **Global Science and Technology**, Rio verde, v. 4, n. 2, p. 16-28, 2011.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Soil Plant Scientia**, Lincoln, v. 49, n. 1, p. 1-24, 1999.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 473-481, 2001.

SUZUKI, L. E. A. S.; 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.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAMURA, T.; MINAMIKAWA, T.; KOSHIBA, T. Multiple forms of acid phosphatase in cotyledones of *Vigna mungo* seedlings. **Journal of Experimental Botany**, New York, v. 33, n. 137, p. 1332-1339, 1982.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, n. 1, p. 195-276.

- TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1173-1184, 2007.
- TURCO, R. F.; KENNEDY, A. C.; JAWSON, M. D. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 73-90. (SSSA Special Publication, 35).
- VALENZUELA, H.; SMITH, J. **Tropic sun, sun hemp**. Hawaii: Cooperative Extension Service, College of Tropical Agriculture and Human Resources, 2002. 3 p. Sustainable Agriculture Green Manure Crops, Aug. 2002, SA-GM-11.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 773-777, 1987.
- VENZKE FILHO, S.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C. C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais – Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 599-610, 2008.
- XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba - CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 247-258, 2006.
- WALKER, T. W.; SYERS, J. K. The fate of phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 15, n. 1, p. 1-19, 1976.
- WANG, K. H.; MCSORLEY, R.; GALLAHER, R. N. Effect of *Crotalaria juncea* amendment on nematode communities in soil with different agricultural histories. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 35, n. 3, p. 294-301, 2003.
- WITT, M.; EASTIN, J. Pearl millet, grain sorghum, and corn responses to watering levels. In: NATIONAL GRAIN PEARL MILLET SYMPOSIUM, 1., 1995, Tifton. **Proceedings...** Tifton: University of Georgia, 1995. p. 40
- WUTKE, E. B. Adubação verde, manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: WRITKE, E.B.; BULISANI, E.A.; MASCARENHAS, H. A. A. **Curso de adubação verde no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p. 17-29. (Documentos, 15).
- WUTKE, E. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; AMBROSANO, G. M. B. Rendimento do feijoeiro irrigado em rotação com culturas graminíferas e adubos verdes. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 2, p. 325-338, 1998.
- ZOTARELLI, L. **Balanco de nitrogênio na rotação de culturas em sistemas de plantio direto e convencional na região de Londrina-PR**. 2000. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.