

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA – CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**QUANTIFICAÇÃO DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA, DO
CARBONO DO CO₂ LIBERADO E MICORRIZAÇÃO EM FUNÇÃO DA
CALAGEM E DO MANEJO DO SOLO**

Martha Regina Lucizano Garcia

Bióloga

Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia da
UNESP, Campus de Ilha Solteira,
para a obtenção do título de Mestre
em Agronomia – Área de
Concentração: Sistemas de
Produção.

ILHA SOLTEIRA – SP

Fevereiro – 2004

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA – CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**QUANTIFICAÇÃO DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA, DO
CARBONO DO CO₂ LIBERADO E MICORRIZAÇÃO EM FUNÇÃO DA
CALAGEM E DO MANEJO DO SOLO**

Martha Regina Lucizano Garcia

Bióloga

Prof^a. Dra. Ana Maria Rodrigues Cassiolato

Orientadora

Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia da
UNESP, Campus de Ilha Solteira,
para a obtenção do título de Mestre
em Agronomia – Área de
Concentração: Sistemas de
Produção.

ILHA SOLTEIRA – SP

Fevereiro – 2004

Dedico e ofereço

*Aos meus pais Vera Lúcia e Carlos Henrique e
aos meus irmãos Henrique e Viviane.*

*“Tudo posso naquele
que me fortalece”
(Filipenses 4, 13)*

Agradecimentos

A Deus, pela oportunidade;

A minha orientadora Prof^a. Dra. Ana Maria, pela orientação, sugestões, críticas, apoio e confiança depositada em mim;

Ao Prof^o. Dr. Luiz Malcolm Mano de Mello, por ter cedido a área na fazenda, sugestões e a ajuda dada durante a realização do trabalho;

A Universidade Estadual Paulista – Campus de Ilha Solteira, que possibilitou meu aperfeiçoamento profissional;

Aos professores do curso de Pós-Graduação que contribuíram para minha formação;

A todos os funcionários do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, em especial a Vera, Valdivino, André, pela colaboração sempre quando precisei;

À todos os funcionários da seção de pós-graduação, pela presteza no atendimento e atenção dispensada;

Aos meus pais Vera e Carlos, pelo apoio, estímulo nos momentos difíceis e carinho. Sem eles, nada disso seria possível;

Aos meus irmãos Henrique e Viviane, pelo apoio e pelas horas de conversa;

Aos meus amigos Márcia, Guilherme, Sueli, Tânia, Michelle e Tiago, pelo apoio e pelos momentos que passamos juntos no laboratório;

Ao Prof^o. Dr. João Antonio da Costa Andrade, pela atenção e auxílio com os dados de correlação;

Ao meu namorado Sandro, pelo apoio e incentivo na continuidade dos estudos;

À todos que, direta e indiretamente, colaboraram com este trabalho.

GARCIA, M.R.L. **Quantificação do carbono da biomassa microbiana, do carbono do CO₂ liberado e micorrização em função da calagem e do manejo do solo.** Ilha Solteira, 2004. 59p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO

Vem sendo adotado no cerrado, cada vez mais, sistemas de manejos conservacionistas, como o plantio direto ou cultivo mínimo, que auxiliam na recuperação e na busca da sustentabilidade do agrossistema. Estes sistemas favorecem numerosos processos bioquímicos que ocorrem no solo devido à atividade microbiana, com efeitos sobre as propriedades físicas e químicas do solo e reflexos sobre o desenvolvimento das plantas, a produtividade agrícola e a qualidade do ambiente. Com isso, o objetivo deste trabalho foi quantificar o carbono da biomassa microbiana (CBM), o carbono do CO₂ (C-CO₂) liberado e a micorrização em função da calagem e do manejo do solo, em uma área de 20 anos de plantio direto, nas culturas de feijão (cultura de inverno) e milho (cultura de verão). O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia, UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria-MS. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, constituídas de 2 tratamentos (principais), 2 doses de calcário e 4 repetições cada. Os tratamentos foram: T1 – Plantio direto – calcário na superfície, sem incorporação; e T2 – Cultivo Mínimo – incorporação de calcário com o escarificador; e as doses de calcários foram: D1 – Testemunha (sem calcário) e D2 – 2000 kg ha⁻¹ de calcário. O solo foi reclassificado como LATOSSOLO VERMELHO distrófico. Após amostragem (de 0 – 0,10 m de profundidade), o solo foi seco, peneirado (2 mm) e enviado para análise das características químicas. O CBM foi avaliado pelo método de fumigação-extração e a atividade respiratória foi verificada pela quantificação do C-CO₂ liberado. Para as avaliações da porcentagem de segmentos de raízes colonizadas por fungos micorrízicos arbusculares as raízes foram clareadas, acidificadas,

coloridas com azul de tripano 0,05 % e preservadas em lactoglicerol. A avaliação da colonização micorrízica foi feita em 40 segmentos de 1cm cada, por repetição, por tratamento, sob microscópio ótico. Para a contagem dos esporos, de cada amostra de solo, 100 g foram processadas segundo uma associação dos métodos de decantação e peneiramento úmido e de centrifugação e flutuação com sacarose, e efetuada a quantificação dos esporos em placas com anéis concêntricos com auxílio do microscópio estereoscópico. Para a cultura do feijão: seis meses após a escarificação e aplicação de calcário na superfície, foram observadas alterações para características químicas, CBM, C-CO₂ liberado, colonização micorrízica, número de esporos do solo e produção de grãos, mas não para peso da matéria seca das plantas. Para a cultura do milho: um ano após a escarificação e aplicação de calcário na superfície, foram observadas alterações para características químicas, mas não para as microbiológicas, peso da matéria seca ou produção de grãos das plantas. Conclui-se que, a incorporação do material de cobertura e a calagem, por meio de uma escarificação, nesta área de 20 anos de PD, pouco alterou a estabilidade do sistema, o que pode ser comprovado pela não diferença estatística entre os valores de C-CO₂ liberado e pelas pequenas diferenças dos valores de CBM, colonização micorrízica e número de esporos entre PD e CM. Assim, é possível evitar a interrupção do PD por meio da aplicação de calcário na superfície.

Termos para indexação: feijão, milho, plantio direto, cultivo mínimo, fungos micorrízicos arbusculares, cerrado.

GARCIA, M.R.L. **Quantification of microbial biomass-C, C-CO₂ evolved and mycorrhizal colonization in** relation to limestone application and soil management. Ilha Solteira, 2004. 59p. Dissertation (Master Science in Agronomy) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

ABSTRACT

There is a steady increase in the employment of conservation management systems such as no-tillage or minimum-tillage in the Brazilian ‘cerrado’, which help in the recovery and maintenance of the agrosystem sustainability. These systems benefits several biochemical processes that take place in the soil due to microbial activity, which impact its physical and chemical properties and reflect on the development of plants, agricultural yield and the environment quality. The objective of this research was to quantify the microbial biomass-C, the C-CO₂ evaluated and the mycorrhization in relation to limestone application and soil management, in a site under no-tillage for 20 years. The experiment was deployed at the Teaching and Research Farm (Selvária, Mato Grosso do Sul State, Brazil) of the College of Engineering of Ilha Solteira, UNESP. The experimental design was a split plot, with two managements (main) and two levels of limestone, with four replications each. Treatments were T1 - No-tillage: surface limestone application, with no incorporation and T2 - Minimum-tillage: limestone incorporation with chisel plowing, while limestone levels were D1 - control (no limestone) and D2 - 2,000 kg ha⁻¹ limestone. The soil was reclassified as a red ‘latossol’ (oxisol). After sampling the soil was dried, sieved (2 mm mesh) and analyzed for its chemical properties. The microbial biomass-C was estimated by the fumigation-extraction method and respiratory activity was estimated by the quantification of the C-CO₂ evaluated. Roots were clarified, acidified, stained with 0.05 trypan blue and preserved in lactoglycerol in order to estimate the percentage of root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi. The assessment of mycorrhizal colonization was performed in 40 segments (one cm long), for each replication and treatment,

under a microscope. For the spore count, from each soil sample 100 g were processed associating the methods of decantation and wet sieving in addition to centrifugation and saccharose flotation. Spores were quantified under the stereoscope in dishes marked with concentric rings. At the beans crop, the management influenced on the microbial C-biomass, with higher values obtained on the minimum-tillage system. There was an interaction between management and limestone application for the C-CO₂ evaluated, with higher release rates reported for the combination no-tillage and no limestone application. The smallest percentage of mycorrhizal colonization was verified under minimum-tillage and no limestone application, while the minimum-tillage system provided the highest number of spores when compared with the no-tillage system. For the corn crop, there was no effect of the management or limestone application on the parameters evaluated. We conclude that little change on the soil characteristics (after 20 years of no-tillage) resulted from the chisel plowing, and that both surface limestone application or its incorporation provided similar results. For the beans crop, six months after the soil scarification and surface limestone application, the soil chemical properties, microbial biomass-C, C-CO₂ evolved, mycorrhizal root colonization and spore production were affected, but there was no effect on plant dry matter weight. As for the corn crop, a year after soil scarification and limestone application, there were no effects of the managements or limestone application on the parameters evaluated. The conclusion is that, the incorporation of limestone through chisel plowing induced little changes on these system stability, which can be expressed by non-statistical differences between values of C-CO₂ evaluated and modest differences in microbial biomass-C, mycorrhizal root colonization and number of spores between no-tillage and minimum-tillage. Hence, it is possible to avoid interruptions on the no-tillage system by the surface application of limestone.

Indexing terms: beans, corn, no-tillage, minimum-tillage, arbuscular mycorrhizal fungi, cerrado

SUMÁRIO

RESUMO-----	6
ABSTRACT-----	8
SUMÁRIO-----	10
LISTA DE TABELAS-----	11
1. INTRODUÇÃO-----	13
2. REVISÃO DE LITERATURA-----	15
3. MATERIAL E MÉTODOS-----	23
3.1. Instalação do experimento-----	23
3.2. Histórico da área-----	23
3.3. Delineamento experimental-----	25
3.4. Análise das características químicas do solo-----	25
3.5. Determinação da produção de matéria seca da palha-----	26
3.6. Variáveis microbiológicas-----	26
3.6.1. Carbono da biomassa microbiana (CBM)-----	26
3.6.2. Quantificação do carbono do CO ₂ (C-CO ₂) liberado-----	27
3.6.3. Porcentagem de colonização micorrízica-----	27
3.6.4. Contagem de esporos de fungos micorrizicos arbusculares (FMAs) autóctones	28
4. RESULTADOS-----	29
4.1. Cultura do feijão (plantio de inverno, ano de 2002)-----	29
4.2. Cultura do milho (plantio de verão, ano de 2002/2003)-----	33
5. DISCUSSÃO-----	37
6. CONCLUSÕES-----	46
7. REFERÊNCIAS-----	47
8. APÊNDICE-----	57

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
01 Médias e probabilidades de F dos parâmetros determinados nas análises das características químicas dos solos, tomados a 0 – 0,10 m de profundidade, durante a condução da cultura do feijão, nos tratamentos com Plantio Direto (PD) ou Cultivo Mínimo (CM), com ou sem aplicação de calcário na superfície.	29
02 Médias e probabilidades de F de carbono da biomassa microbiana (CBM) e do carbono do CO ₂ (C-CO ₂) liberado para os manejos Plantio Direto ou Cultivo Mínimo, com ou sem aplicação de calcário na superfície, dos solos obtidos durante a condução da cultura do feijão.	30
03 Taxa do carbono do CO ₂ (C-CO ₂) liberado para os manejos Plantio Direto ou Cultivo Mínimo, com ou sem aplicação de calcário na superfície, dos solos obtidos durante a condução da cultura do feijão.	31
04 Médias e probabilidades de F de colonização micorrízica (CM), número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares autóctones, matéria seca da parte aérea e produção de grãos para os manejos Plantio Direto (PD) ou Cultivo Mínimo (CM), com ou sem aplicação de calcário na superfície, dos solos obtidos durante a condução da cultura do feijão.	32
05 Porcentagem de colonização micorrízica para os manejos Plantio Direto ou Cultivo Mínimo, com ou sem aplicação de calcário na superfície, para cultura do feijão.	32

06	Produção de grãos da cultura do feijão para os manejos Plantio Direto ou Cultivo Mínimo, com ou sem aplicação de calcário na superfície.	33
07	Médias e probabilidades de F dos parâmetros determinados nas análises das características químicas dos solos, tomados a 0 – 0,10 m de profundidade, durante a condução da cultura do milho, nos tratamentos com Plantio Direto (PD) ou Cultivo Mínimo (CM), com ou sem aplicação de calcário na superfície.	33
08	Médias dos parâmetros determinados nas análises das características químicas dos solos, tomados a 0 – 0,10 m de profundidade, durante a condução da cultura do milho, nos tratamentos com Plantio Direto (PD) ou Cultivo Mínimo (CM), com ou sem aplicação de calcário na superfície.	34
09	Médias e probabilidades de F de carbono da biomassa microbiana (CBM) e do carbono do CO ₂ (C-CO ₂) liberado para os manejos Plantio Direto ou Cultivo Mínimo, com ou sem aplicação de calcário na superfície, dos solos obtidos durante a condução da cultura do milho.	35
10	Médias e probabilidades de F de colonização micorrízica (CM), número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares autóctones, matéria seca da parte aérea e produção de grãos para os manejos Plantio Direto (PD) ou Cultivo Mínimo (CM), com ou sem aplicação de calcário na superfície (0 ou 2 toneladas ha ⁻¹), dos solos obtidos durante a condução da cultura do milho.	35

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção considerados convencionais, com o preparo intensivo do solo, além de exigir cada vez mais o acréscimo de fertilizantes, corretivos e pesticidas são os responsáveis pela degradação física, química e biológica do solo. Em busca de um sistema de manejo mais adequado, muitos agricultores passaram a usar sistemas conservacionistas tais como cultivo mínimo e plantio direto.

O plantio direto consiste na mínima manipulação do solo, mobilizando apenas a linha de semeadura, com o solo parcial ou totalmente coberto com palha ou restos culturais. O tráfego de máquinas e o não revolvimento do solo podem provocar compactação da superfície, diminuir a porosidade de aeração e o potencial de desenvolvimento radicular das plantas e reduzir a produtividade das culturas. Por outro lado, o plantio direto apresenta maior densidade e microporosidade do solo até a profundidade de 0,15 m, o que é atribuído ao não revolvimento do solo. Os efeitos da camada compactada do solo podem ser atenuados pelo uso da rotação de culturas e/ou pela descompactação do solo com equipamentos. Quando há necessidade do uso de equipamentos deve-se utilizar um sistema de manejo que consiga romper esta camada compactada, invertendo o mínimo possível a camada arável e mantendo o máximo de palha sobre o solo. Esta interferência deve ser executada por escarificadores, evitando que toda palha seja incorporada ao solo.

Além da possível compactação no solo sob plantio direto, pode ocorrer também a acidificação do mesmo. Esta, menos intensa que no sistema convencional, ocorre de forma localizada, ou seja, na camada superficial, devido a mineralização dos restos culturais e do uso de altas doses de adubação nitrogenada, principalmente na cultura do milho. A calagem,

independente do sistema de cultivo adotado, é uma prática essencial para a correção da acidez dos solos tropicais, o que também influencia o desenvolvimento do sistema radicular e a absorção de nutrientes do solo.

A eficiência da aplicação de calcário, em superfície, em áreas de plantio direto é bastante controversa, assim como, se há ou não a necessidade de se fazer a calagem em sistemas cujo plantio direto já é adotado a alguns anos, ou se existe a necessidade de se fazer a escarificação em áreas de plantio direto. A mobilização do solo após alguns anos de plantio direto rompe a arquitetura e continuidade de poros construída pelo plantio direto. Assim, os métodos de manejo podem influenciar diferenciadamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Com relação às propriedades biológicas do solo, pouco se conhece sobre áreas com mais de 15 anos de plantio direto. Com o passar dos anos, o plantio direto entra em equilíbrio, o que sugere também equilíbrio nas propriedades microbiológicas do solo. Quando se procede a escarificação, o equilíbrio do sistema é quebrado, assim como, quando se procede a calagem as propriedades do solo sofrem alterações. Tais procedimentos provavelmente influenciam as propriedades químicas e biológicas do solo. Porém, ainda faltam informações na literatura.

Com isso, o objetivo deste trabalho foi quantificar o carbono da biomassa microbiana, o carbono do CO₂ liberado e a micorrização em função da calagem e do manejo do solo, em uma área de 20 anos de plantio direto, nas culturas de feijão (cultura de inverno) e milho (cultura de verão).

2. REVISÃO DE LITERATURA

O Cerrado do Brasil Central, um dos biomas brasileiros, ocupa uma área heterogênea, descontínua e de grande extensão, compreendendo aproximadamente 204 milhões de hectares, equivalente a um quarto do território nacional. Sua faixa contínua abrange a parte Sul do Mato Grosso, todo o estado de Goiás, Tocantins, Mato Grosso do Sul, Oeste da Bahia e de Minas Gerais e parcialmente os estados do Piauí, Maranhão e Rondônia, apresentando manchas isoladas no estado de Roraima (SILVA & RESCK, 1997, p. 158-184).

O relevo da região é, em sua maioria, plano ou suavemente ondulado, apresentando uma altimetria diversificada, predominando, na parte Central e Sudeste, as áreas de maior altitude (73% entre 300 e 900 metros). O tipo de solo que predomina no cerrado é o Latossolo. O volume total da precipitação pluviométrica da região está entre 800 a 2.400 mm, com média de 1.500 mm. Entretanto, a distribuição desta precipitação é irregular, caracterizando duas estações bem distintas: a chuvosa, que se estende de outubro a março e a seca, que se estende de abril a outubro. A temperatura é pouco variável durante o ano, registrando-se em julho as médias mais baixas (22 °C), e em setembro, as mais altas (27 °C) (SILVA & RESCK, 1997, p. 158-184).

O povoamento do cerrado brasileiro teve início a alguns anos, porém a região permaneceu economicamente dedicada à criação extensiva do gado e à agricultura de subsistência até os anos 50 quando teve início a construção de Brasília. O isolamento da região era decorrente principalmente da inexistência de vias de transporte, e a implantação de Brasília facilitou a ocupação da região do cerrado (PINTO, 1994, p. 11-13).

Estas regiões passaram então a ser exploradas por apresentarem, a curto prazo, uma opção para a expansão da área agrícola brasileira devido à sua localização geográfica, topografia,

temperatura, luminosidade, facilidade do emprego da mecanização agrícola, preço da terra acessível e aptidão para várias culturas rentáveis (MELLO, 1988, 132p.).

A expansão agrícola, as promessas de lucratividade e os baixos preços da terra atraíram pessoas que estavam ou não ligadas à agricultura. Embora a agricultura muito tenha se beneficiado com esta expansão, efeitos negativos foram se pronunciando com o desmatamento indiscriminado das áreas, com a conseqüente quebra do equilíbrio ecológico e o aparecimento de doenças e pragas; e o uso inadequado do solo, que não tem recebido a atenção e os cuidados devidos para garantir permanente sucesso das variadas atividades agrícolas (MELLO, 1988, 132p.). Devido à reduzida fertilidade natural destes solos, causada pelos baixos valores de pH, bases trocáveis, P e teores elevados de H^+Al , a calagem ainda é uma das práticas necessárias e efetivas na correção da acidez, elevando o pH e a saturação por base do solo e fornecendo os nutrientes cálcio e magnésio (SILVEIRA et al., 2000, p. 2057-2064).

As atividades da chamada agricultura convencional, associadas ao uso intensivo e/ou o manejo inadequado, podem depauperar os solos ao longo dos tempos. A superfície descoberta do solo, aquecida excessivamente pelo sol, perde umidade de forma rápida, o que desfavorece as condições de conservação da matéria orgânica (importante para aumentar a resistência dos solos à erosão) e prejudica o desenvolvimento das culturas, além de exigir cada vez mais o acréscimo de fertilizantes, corretivos e pesticidas, que são os responsáveis pela degradação física, química e biológica do solo (SÁ, 1997, p. 53-65; SILVA & RESCK, 1997, 1997, p. 159-184).

Visando a melhoria das características e propriedades naturais do solo e objetivando uma menor manipulação do mesmo, vem sendo adotado no cerrado, cada vez mais, sistemas de manejos conservacionistas (MELLO, 1988, 132p.; SILVA & RESCK, 1997, p. 158-184). O cultivo mínimo e o plantio direto consistem na mínima mobilização em toda a área de plantio ou na mobilização apenas na linha da sementeira, sendo o plantio executado com o solo parcial ou totalmente coberto com plantas ou restos culturais (FURLANI, 2000, p. 27).

O sistema de plantio direto tem como característica principal o revolvimento do solo somente na linha de sementeira, mantendo os resíduos vegetais em sua superfície, minimizando os efeitos erosivos das precipitações intensas que ocorrem em climas tropicais, aumentando a infiltração da água (BARIZON, 2001, p. 5). A cobertura morta, formada pelo acúmulo de resíduos vegetais nas camadas superficiais, diminui as oscilações da temperatura e da umidade na superfície do solo e contribui para a manutenção de temperaturas mais amenas e maior retenção

de água no solo em períodos quentes e de estiagem prolongadas (LEVIEN, 1999, p.192; COLOZZI-FILHO, 2000, p.30). Além da melhoria na estruturação do solo, a reserva de nutrientes, entre outros, beneficiam também as plantas que serão ali cultivadas (SÁ, 1997, p. 53-65).

A escarificação, no cultivo mínimo, resulta em preparo com menor revolvimento e, portanto, menor incorporação da palha, restando sobre a superfície uma maior cobertura para proteção do solo em relação ao preparo convencional (SIQUEIRA, 1999, p. 5).

A adoção destes sistemas, no entanto, exige um planejamento do uso da adubação, de cultivares adaptados, do controle de pragas e ervas daninhas, da rotação de culturas, da escolha de espécies adaptadas para a produção em palha, entre outros. Estes tipos de manejo visam reduzir substancialmente o processo de degradação em curso, auxiliando na recuperação e na busca da sustentabilidade do agrossistema (SILVA & RESCK, 1997, p. 158-184).

O sistema ideal de manejo de solo é aquele que integra tecnologias visando a redução de custos e a melhoria da qualidade ambiental, permitindo interações biológicas e processos naturais benéficos no solo (FREITAS & BERNARDI, 2003, p. 61).

Na ocupação do cerrado, o feijão e o milho, entre outros, são culturas que se adaptaram bem tanto em função da temperatura, luminosidade, precipitação e solo, como aos tipos de manejo. O Brasil é o segundo produtor mundial de feijão do gênero *Phaseolus* e o primeiro na espécie *Phaseolus vulgaris*. A importância dessa produção deve-se ao fato do feijão, além de se constituir um dos alimentos básicos da população brasileira, é um dos principais produtos fornecedores de proteína na dieta alimentar dos estratos sociais economicamente menos favorecidos (EMBRAPA, 2004).

O feijoeiro tem uma ampla adaptação edafoclimática, o que permite seu cultivo durante todo o ano, possibilitando uma constante oferta do produto ao mercado. Outra característica desta leguminosa é possibilitar a sua produção em diversos ecossistemas tropicais e temperados, em monocultivo e/ou consorciado nos mais variados arranjos de plantas inter e intraespecíficos, o que favorece a diversificação na produção. Considerando a diversidade fisiográfica do país e a adaptação do feijoeiro às diversas condições de clima e solo, é possível explorar a cultura em três épocas diferentes, no mesmo ano. O plantio do feijoeiro é realizado nas Regiões Centro-Oeste e Sudeste nos meses de abril a julho, como cultura de “inverno”. A safra de inverno, de aproximadamente 156.000 hectares, garante os 10 % da produção, sendo essencial, neste período,

o emprego da irrigação (EMBRAPA, 2004). Quando utilizado em rotação de culturas, exige cuidados no plantio. As raízes do feijão se associam com as bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, tornando-se indispensáveis ao cultivo agrícola pois integram o nitrogênio ao substrato. Esta, não só beneficia a planta em desenvolvimento como sede nitrogênio para o solo, que será aproveitado pelas culturas posteriores (VARGAS et al., 1993, p. 159-182).

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais cultivadas no mundo, e constitui a base alimentar para milhões de pessoas. No Brasil, o milho é o terceiro produto com maior volume de produção, e o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho ocupando uma área de 12.350.200 hectares (NEHMI et al., 2003, p. 413-434). O milho é uma espécie termo-sensível; seu ciclo depende da variação da temperatura no ambiente em que a planta se desenvolve (entre 10 e 30 °C) e de uma alta disponibilidade hídrica (GOMES & KARAZAWA, 1982, p. 33-50). Albuquerque et al. (1995, p. 115-119) observaram que a produtividade da cultura de milho em sistema de plantio direto foi 83% superior, comparada ao convencional. Estes pesquisadores afirmam ainda que vários autores observaram que a produtividade de milho em sistema de plantio direto é superior ao sistema de manejo convencional. O milho é muito utilizado na rotação de culturas pois é o cultivo agrícola que mais retorna matéria orgânica ao solo (PINOTTI, 2000, 31p.). Assim, como outras gramíneas, o milho possui um sistema radicular denso, provocando normalmente uma melhoria nas propriedades físicas do solo, tais como, aumento da macroporosidade, da agregação e da estabilidade dos agregados, da friabilidade do solo e da retenção de água (PAULA et al., 1998, p. 66-70). Por ser uma cultura que necessita de nitrogênio do solo para seu desenvolvimento, numa rotação de culturas, deve vir sempre acompanhada de uma leguminosa.

O cultivo alternado de uma leguminosa com uma gramínea favorece a manutenção da matéria orgânica do solo. Bragagnolo & Mielniczuk (1990, p. 91-98) e Testa et al. (1992, p. 107-114) verificaram que os sistemas de culturas em plantio direto proporcionaram elevados valores de massa seca acumulada na superfície do solo. De modo geral, as maiores quantidades de carbono nos resíduos sobre o solo sob sistemas que incluem espécies leguminosas, provavelmente dá-se pela sua capacidade de associar-se com bactérias fixadoras de nitrogênio, resultando em um efeito benéfico sobre a produção de biomassa de milho, cultivado em sucessão.

A disponibilidade de nitrogênio para a primeira cultura em sucessão (efeito imediato) quando leguminosas são utilizadas, e o uso destas por vários anos, pode se refletir em um incremento na capacidade do solo em suprir nitrogênio (efeito residual) (AMADO et al., 1999, p. 679-686).

As leguminosas proporcionam vantagens, como a economia com fertilizantes nitrogenados, grandes rendimentos por área, sistema radicular profundo que ajuda a descompactar o solo e simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, que produzem resíduos vegetais de baixa relação C:N (MIYASAKA et al., 1984, 138p. ; SILVA et al., 1985, p. 85-88).

Os efeitos promovidos pelas culturas, no solo, são bastante variáveis, dependendo de fatores como: a espécie utilizada, o manejo dado à biomassa, a época de plantio, tempo de permanência dos resíduos no solo, as condições locais e a interação entre estes fatores (ALCÂNTARA et al., 2000, p. 277-288).

Assim, os resultados obtidos têm demonstrado que o plantio direto e o cultivo mínimo, incluindo culturas de inverno e verão, apresentam um grande potencial em melhorar a estrutura e conservar as propriedades do solo.

Numerosos processos bioquímicos ocorrem no solo devido à atividade microbiana, com efeitos sobre as propriedades físicas e químicas do solo e reflexos sobre o desenvolvimento das plantas, a produtividade agrícola e a qualidade do ambiente. A biomassa microbiana representa o compartimento central do ciclo de carbono no solo e, de acordo com as condições edafoclimáticas do ecossistema e da composição dos resíduos vegetais sobre sua superfície, pode funcionar como compartimento de reserva (nutrientes facilmente disponíveis) ou como um catalisador na decomposição da matéria orgânica (MERCANTE, 2001, p. 9-10). As implicações agronômicas na ciclagem de nutrientes, principalmente a mineralização e imobilização, são de grande interesse pois que resultam em ganhos ou perdas na produtividade das culturas, com reflexos na economicidade dos sistemas agrícolas (BALOTA, 1997, p. 222-233).

A quantidade de material orgânico que permanece sob solo de plantio direto é a mesma que no convencional, porém no primeiro, o material orgânico fica na superfície e no segundo é incorporado ao solo. A incorporação favorece a aeração que, concomitante à introdução dos resíduos vegetais, acelera a atividade microbiana e a rápida decomposição. No plantio direto o material orgânico fica na superfície o que reduz o contato com os microrganismos do solo, por isso a velocidade de decomposição é menor e a atividade microbiana é maior onde não há

revolvimento do solo. Como os microrganismos não ficam expostos às amplitudes de variação térmica, sua atividade é maior (ALMEIDA, 1985, p. 103-144).

Os microrganismos, além de sua função na decomposição da matéria orgânica, contribuem para a agregação e estruturação do solo por meio dos exsudados gomosos bacterianos e das hifas dos fungos, colaborando, assim, com a ação importante do húmus neste processo. Na busca da recuperação e/ou manutenção do equilíbrio, os manejos plantio direto e cultivo mínimo passaram a ser utilizados por serem menos agressivos ao solo (ALMEIDA, 1985, p. 103-144).

O plantio direto, comparado ao convencional, mostrou ser mais eficiente na manutenção da microbiota do solo, tanto por aumentar o teor do carbono da biomassa microbiana (129 %) e do nitrogênio (48 %) como por proporcionar um incremento nas populações de bactérias fixadoras de nitrogênio simbióticas (*Bradyrhizobium* sp.) e associativas (*Azospirillum* sp.) (BALOTA et al., 1997, p. 9-11).

Valores obtidos na quantificação do carbono da biomassa microbiana também revelam que o plantio direto proporciona valores médios e mais constantes em todas as amostragens, gerando maior equilíbrio nas condições do solo, e evidenciando que este sistema de preparo torna as condições do solo mais próximo às condições de solo preservado (BALOTA, 1997, p. 222-233).

Assim, enquanto os métodos convencionais de preparo do solo, como aração e gradagem, tendem a promover uma redução nos teores de adição de material orgânico, o sistema plantio direto pode promover aumentos consideráveis nos teores de carbono orgânico e de nutrientes, principalmente nas camadas superficiais do solo. Neste contexto, a sequência de culturas utilizadas ano a ano irão interferir diretamente no tamanho e na atividade da biomassa microbiana (MERCANTE, 2001, p. 9-10).

Tanto a quantidade como a qualidade dos resíduos vegetais nos sistemas produtivos provocam alterações na comunidade microbiana, influenciando sua taxa de decomposição. Os microrganismos são sensíveis às modificações do solo, tornando-os adequados como indicadores biológicos. Estimativas a respeito da biomassa microbiana possibilitam associar a quantidade de nutrientes imobilizados com a fertilidade e potencial produtivo (MERCANTE, 2001, p. 9-10). A respiração e a atividade enzimática, em geral ou específica, no solo, também podem ser usadas como indicativos de qualidade (CAMPBELL et al., 1992, p. 417-427), apontando para alterações mesmo antes de uma acumulação nas plantas ou de uma erosão serem detectadas. Assim, o

monitoramento das comunidades microbianas, por meio destes parâmetros, têm sido utilizados como indicadores da qualidade do solo em função dos diferentes sistemas de manejo e rotações de culturas, podendo ajudar na detecção de alterações nas populações microbianas resultantes de mudanças ambientais.

Os microrganismos do solo são também de grande importância para a nutrição das plantas, por formarem simbioses com certas espécies de plantas. As bactérias fixadoras de nitrogênio, que se associam às raízes de muitas leguminosas e gramíneas, disponibilizam o nitrogênio que é aproveitado rapidamente pelas plantas (BALOTA, 1997, p. 222-233).

As associações entre raízes e determinados fungos do solo, denominadas micorrizas, ocorrem na maioria das espécies vegetais superiores. Esta associação é chamada de mutualista, pois o fungo não ataca as raízes nem causa injúrias. A associação auxilia a planta na absorção de nutrientes do solo, melhorando o seu estado nutricional, proporcionando maior adequabilidade ao ecossistema, capacidade de sobrevivência e crescimento inicial de mudas transplantadas, e redução nas perdas provocadas por fatores bióticos; maior produtividade em solos pobres e locais adversos e maior tolerância da planta aos estresses abióticos (BONONI et al., 1987, 21p.). A inoculação com micorrizas no cultivar da soja não só trás benefícios como os citados anteriormente, como também aumenta a sua produção de matéria seca. Já a associação com as gramíneas é mais baixa, pois possuem um sistema radicular bem desenvolvido e mais eficiente na absorção de água e nutrientes do solo. A relação de dependência micorrízica entre leguminosas e gramíneas pode variar. O milho, por exemplo, apresenta uma dependência micorrízica de aproximadamente 380 %, enquanto o feijão apresenta dependência de aproximadamente 550 % (SIQUEIRA & FRANCO, 1988, p. 152).

Diversos estudos mostram que as alterações nos solos agrícolas reduzem o desenvolvimento dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), o que reflete as alterações provocadas no potencial infectivo natural do solo pelo preparo. Sistemas agrícolas intensamente manejados selecionam os FMAs, e tal seleção nem sempre é direcionada para a eficiência simbiótica, mas, sim para sobrevivência no sistema (COLOZZI-FILHO et al., 1999, p. 487- 508). O plantio direto e o cultivo de plantas em rotação podem alterar a quantidade de estruturas dos FMAs no solo. Quando utilizadas em um sistema de rotação, essas plantas aumentam a população dos FMAs nativos no solo e beneficiam os cultivos subsequentes (MIRANDA et al., 2001, p.1-3). Aumento no número de esporos e na porcentagem de colonização radicular são

observadas quando o milho é cultivado em sucessão a outras culturas do que quando cultivado em monocultura, o mesmo observado para o feijão (COLOZZI-FILHO et al., 1999, p. 487-508; MIRANDA et al., 2001, p.1-3). As gramíneas se beneficiam da associação em condições mais estressantes ao crescimento (SIQUEIRA & FRANCO, 1988, 235p.).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Instalação do experimento

O experimento foi conduzido no ano de 2002 (feijão, cultivo de inverno) e no ano de 2002/2003 (milho, cultivo de verão), na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia – UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria-MS. Apresenta como coordenadas geográficas 51° 22' de longitude Oeste e 20° 22' de latitude Sul e altitude de 335 metros. A média anual de precipitação é 1.232,2 mm e a temperatura média é de 24,4 °C, sendo janeiro e fevereiro os meses mais quentes (25,7 °C) e junho e julho os mais frios (20,5 °C). A umidade relativa média do ar é de 64,8 % (HERNANDEZ et al., 1995, 45p.). De acordo com Koppen, o tipo climático é Aw, caracterizado como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-escuro álico e textura argilosa (DEMATTÊ, 1980, 114p.), atualizado para LATOSSOLO VERMELHO Aluminoférrico típico argiloso, a moderado, hipodistrófico, álico, profundo, moderadamente ácido (EMBRAPA, 1999, 412p.), apresentando declividade média de 4% e boa drenagem.

3.2. Histórico da área

Originalmente a área apresentava como cobertura vegetal o cerrado *sensu stricto*, mas atualmente, toda área esta recoberta por culturas agrícolas. Desde 1982 o plantio direto tem sido adotado como manejo, e as culturas utilizadas, nos últimos três anos, foram: o milho ou soja no verão e feijão no inverno.

Anteriormente à implantação do milho e da soja, toda área foi utilizada para o cultivo de milho. A área encontrava-se com sistema de irrigação por pivô central.

A necessidade de calagem da área experimental, antes da implantação das culturas de milho e soja era de 2 toneladas de calcário ha^{-1} , sendo utilizado para a calagem calcário dolomítico com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 85%.

Em novembro de 2001, parte da área foi mantida em plantio direto (PD) e a outra parte foi submetida ao cultivo mínimo (CM). A calagem (realizada a lanço com as mãos) e a escarificação (até 0,25 m de profundidade) foram realizadas no mesmo dia (22 de novembro de 2001). A instalação do primeiro plantio de verão se deu no dia seguinte (23 de novembro de 2001), sendo as culturas utilizadas o milho e a soja.

Para o primeiro experimento, a cultura do feijoeiro foi instalada em plantio direto, em sucessão à cultura de soja (2001/2002), a qual foi implantada no dia 12 de maio de 2002. Na semeadura do feijão os fertilizantes utilizados foram 20 Kg ha^{-1} de N, + 70 Kg ha^{-1} de P_2O_5 + 40 Kg ha^{-1} de K_2O , através da utilização de 250 Kg ha^{-1} da fórmula 08-28-16. Em cobertura foi utilizado 200 Kg/ha da fórmula 20-00-20. A semente de feijão utilizada foi o cultivar IAC – Carioca. As coletas das amostras de solo foram feitas no mês de agosto, durante a fase de enchimento de grãos. Cada amostra foi composta de 4 amostras simples de solo, e foram retiradas a uma profundidade de 0 – 0,10 m, na linha, próxima a raiz da planta, com auxílio de uma enxada. As amostras de solo foram encaminhadas para laboratório, onde foram deixadas para que perdessem o excesso de umidade, antes de serem peneiradas (malha de 2 mm). Estas foram armazenadas até se proceder as análises. Para a análise das raízes foram coletadas plantas inteiras que foram encaminhadas para o laboratório, lavadas com água corrente e preservadas em álcool 50 %, até que a coloração fosse realizada.

Para o segundo experimento, a cultura do milho foi instalada em plantio direto, em sucessão às culturas de milho (2001/2002) e feijão (2002), a qual foi implantada no dia 15 de novembro de 2002. Na semeadura do milho os fertilizantes utilizados foram 350 kg ha^{-1} da fórmula 08-28-16 e a adubação de cobertura foi parcelada, utilizando-se 200 kg ha^{-1} de sulfato de amônia e 200 kg ha^{-1} da fórmula 20-00-20. A semente de milho utilizado foi o híbrido precoce, apto para a região. As coletas das amostras de solo foram feitas no mês de fevereiro durante a fase de enchimento de grãos. Cada amostra foi composta de 4 amostras simples de solo, e foram retiradas a uma profundidade de 0 – 0,10 m, na linha, próxima a raiz da planta, com auxílio de

uma enxada. Os procedimentos utilizados para coleta, preparo e análises de solo e raízes foram os mesmos descritos anteriormente.

3.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, cujos tratamentos principais foram os tipos de manejo do solo, ou seja, o plantio direto e o cultivo mínimo com escarificação a 0,25 m de profundidade, e as duas doses de calcário dolomítico, com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 85 %, aplicado na superfície, nas doses zero e 2 toneladas ha^{-1} , em um total de 4 tratamentos, com 4 repetições cada. O espaçamento entrelinhas foi de 0,50 m para a cultura do feijão e para a cultura do milho foi utilizado o espaçamento tradicional, e cada subsubparcela apresentou uma área total de 33,75 m^2 , com área útil de 4 m^2 .

Foram avaliados 4 repetições por tratamento, sendo que, para as análises de CBM e de C-CO_2 liberado, cada repetição foi constituída da média aritmética dos resultados da análise de 2 amostras. Para número de esporos, foram avaliados 4 repetições por tratamento, sendo que, cada repetição foi constituída de uma amostra composta por 8 amostras simples de solo. Os dados foram analisados estatisticamente por contraste de médias entre os tratamentos e análises conjuntas que englobaram as individuais, com desdobramento nas interações significativas. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa SANEST e SAS (ZONTA & MACHADO, 1993, 138p.; SAS, 1996, 1686p.). O teste de Tukey foi empregado após a análise de variância e a análise de correlação foi feita para todos os parâmetros.

3.4. Análise das características químicas do solo

Após a colheita de cada uma das culturas, foi coletada uma amostra composta de 20 amostras simples, na área útil de cada parcela, na profundidade de 0 – 0,10 m. As análises das características químicas foram realizadas no laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da UNESP, Campus de Ilha Solteira. Após secagem ao ar e peneiramento do solo a 2 mm, as análises foram efetuadas segundo Raij & Quaggio (1983, 31p.).

3.5. Determinação da produção de massa seca da palha

Para a determinação da produção de massa seca da palha do feijoeiro, foram retiradas aproximadamente 200 g de plantas, de cada subparcela, os quais foram colocados em sacos de papel, anotando sua massa úmida para, posteriormente, serem levados à estufa a 105 °C por 24 horas, e determinando o peso da massa seca. As plantas colhidas na área útil em cada subparcela foram pesadas para posteriormente ser calculado a produção de massa seca, determinada com base neste peso multiplicado pela matéria seca.

Para o milho, foram colhidas as plantas de 3 linhas de 4 metros por sub-parcela. Essas plantas foram submetidas a trilhadora mecânica com separação de grãos e palha. Após a pesagem da palha foram retiradas amostras de aproximadamente 200 g, levadas em estufas a 65 °C e seca até atingir peso constante, quando foram pesadas novamente para determinação do teor de matéria seca. Multiplicando-se o valor de matéria seca pela produção de palha foi obtida a produção de massa seca da palha.

3.6. Variáveis microbiológicas

3.6.1. Carbono da biomassa microbiana (CBM)

Para as análises microbianas, foram avaliadas 4 repetições por tratamento, sendo que cada repetição foi constituída da média aritmética dos resultados da análise microbiana de 2 amostras compostas. O CBM foi avaliado pelo método de fumigação-extração (VANCE et al., 1987, p. 773-777) que envolve a eliminação da microflora do solo pelo clorofórmio. O carbono liberado pela morte dos microrganismos foi determinado por extração seguido de digestão, e comparado às amostras de solo não-fumigadas. Foram utilizadas 2 amostras de 10 g de solo inicialmente peneirado, sendo que somente uma foi fumigada com clorofórmio (CHCl_3) livre de etanol. Para tanto, as amostras permaneceram em um dessecador por dois dias a 27 °C. O carbono microbiano foi extraído, tanto do solo fumigado como do não-fumigado, com o emprego de extrator K_2SO_4 0,5 mol L^{-1} . Após agitação por 30 minutos e filtração em papel de filtro Whatman nº1, os extratos foram centrifugados a 3021 g por 3 minutos. O carbono microbiano presente nos extratos foi oxidado quando misturado com dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,4 mol L^{-1}) e ácido sulfúrico

(H₂SO₄) concentrado. A mistura foi encaminhada ao bloco digestor, onde permaneceu por 30 minutos a uma temperatura de 90 °C. O excesso de dicromato foi, então, retitulado contra sulfato ferroso amoniacal [(NH₄)₂Fe(SO₄)₂.6H₂O] utilizando difenilamina como indicador, revelando a quantidade de dicromato utilizado na oxidação e, assim, a quantidade de carbono extraída.

A biomassa foi então determinada por: $B = C_f - C_{nf} / K_{ec}$ onde:

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

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

3.6.2. Quantificação do carbono do CO₂ (C CO₂) liberado

Para a quantificação do C-CO₂ liberado 100 g de solo, inicialmente peneirado, foram colocadas em jarros de vidro com tampa de rosca, no centro do qual foi depositado um frasco contendo 10 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹. Os jarros foram fechados hermeticamente e mantidos em câmara climatizada a 27 °C por 120 horas para o solo proveniente da coleta do feijão e 72 horas para o solo proveniente da coleta do milho. O tempo de incubação foi determinada por meio de uma curva resultante de um monitorada diariamente. A titulação da soda livre, à qual foi acrescido 1 mL de solução saturada de BaCl₂, foi realizada empregando HCl 0,1 mol L⁻¹. O controle foi feito com jarros de vidro, sem solo, contendo frascos com NaOH. A titulação da soda livre permitiu calcular, por subtração, a quantidade de CO₂ que combinou com o NaOH (ANDERSON & DOMSCH, 1982, p. 471-479).

3.6.3. Porcentagem de colonização micorrízica

Para realização da coloração, um grama de raiz das amostras inicialmente coletadas e armazenadas em álcool 50 %, foi cortada no comprimento de 1 cm, lavada em água corrente e clarificada em solução KOH 10 % a 90 °C por 30 minutos para as raízes de feijoeiro e por 20 minutos para as de milho. Para auxiliar na clarificação das raízes, foi usada água oxigenada, sendo 10 minutos em temperatura ambiente para as raízes do feijoeiro e 10 minutos a 90 °C para as do milho. A seguir foram lavadas em água corrente e acidificadas com HCl 1 % à 90 °C, por 7 minutos para o feijão e 12 minutos para o milho. A coloração foi feita com azul de tripano 0,05 % por 3 minutos para o feijão e 4 minutos para o milho. As raízes foram lavadas em água corrente,

para retirar o excesso de corante e preservadas em lactoglicerol até o momento da avaliação (PHILLIPS & HAYMAN, 1970, p. 158-161). A avaliação da colonização foi feita em 40 segmentos de 1 cm cada, por repetição, por tratamento, sob microscópio óptico.

3.6.4. Contagem de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) autóctones

Para esta análise, foi utilizado solo inicialmente peneirado e os esporos dos FMAs foram separados e coletados segundo uma associação dos métodos de decantação e peneiramento úmido (GERDEMANN & NICOLSON, 1963, p. 234-244) e de centrifugação e flutuação com sacarose (JENKINS, 1964, p. 692). Por amostra, 100 gramas de solo foram misturados em 300 mL de água, em um béquer, e agitado vigorosamente. Após decantação por alguns segundos, para sedimentação das partículas maiores e/ou mais densas que os esporos, o sobrenadante foi passado por duas peneiras, com aberturas de 710 e 50 μm , na seqüência da maior para a menor abertura da malha, e o procedimento foi repetido 4 vezes.

Com auxílio de uma piceta, o material depositado na peneira de 50 μm foi recolhido, transferido para tubos e centrifugado por 3 minutos a 302,1 g. O sobrenadante foi cuidadosamente descartado e o precipitado ressuspenso em sacarose 50 % para novamente ser centrifugado por mais 1,5 minutos. Os esporos presentes no sobrenadante foram transferidos para a peneira de malha de 50 μm , lavados com água em abundância, para retirar o excesso de sacarose, e recolhidos em um béquer pequeno. A contagem dos esporos de FMAs autóctones foi realizada usando uma placa de acrílico com anéis concêntricos, sob microscópio estereoscópico.

4. RESULTADOS

4.1. Cultura do feijão (plantio de inverno, ano de 2002)

As médias e as probabilidades de F dos parâmetros determinados nas análises das características químicas dos solos, em diferentes manejos e calagens, durante a condução da cultura do feijão, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Médias e probabilidades de F dos parâmetros determinados nas análises das características químicas do solo, tomados a 0 – 0,10 m de profundidade, durante a condução da cultura do feijão, nos tratamentos com Plantio Direto (PD) ou Cultivo Mínimo (CM), com ou sem aplicação de calcário na superfície.

Causas de Variação		P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
		mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	-----		mmolC _c dm ⁻³	-----			%
Manejos	PD	43,75a	30,44	5,21	2,81	30,81	29,50	35,31	1,00a	98,46	58,19b
	CM	26,50b	27,13	5,41	2,19	32,25	25,37	30,43	0,50b	90,38	64,25a
Calagem	0 tonelada	31,56	27,68	5,11b	2,22	26,94b	21,75b	34,43	0,87	85,45b	57,06b
	2 toneladas	38,68	29,87	5,51a	2,78	36,13a	33,12a	31,31	0,62	103,39a	65,37a
Prob. de F	Manejo	0,02130	0,24043	0,05339	0,08072	0,69109	0,15736	0,05380	0,04773	0,17108	0,02819
		*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*
	Calagem	0,28375	0,56627	0,00221	0,11114	0,02614	0,00253	0,19098	0,28620	0,00937	0,00635
		ns	ns	**	ns	*	**	ns	ns	**	**
	Manejo x	0,95228	0,54437	0,19313	0,66401	0,76409	0,31403	0,90897	1,00000	0,54395	0,28088
	Calagem	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		35,59	18,36	3,52	25,36	22,13	19,61	13,50	58,79	11,57	7,65

* e **: significativo a 5 e 1 %, respectivamente; (ns) não significativo. Médias seguidas de mesma letra, na coluna e dentro de cada parâmetro, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Diferenças significativas foram observadas entre manejos e entre calagens, mas não para a interação. Entre manejos, foram observadas diferenças para as variáveis P, Al e V, sendo o maior valor de P e Al verificados no PD e de V no CM. Para calagens, foram verificadas diferenças estatísticas para pH, Ca, Mg, CTC e V, sendo os maiores valores observados no tratamento com adição de calcário (Tabela 1).

Para as variáveis CBM e C-CO₂ liberado, as médias e as probabilidades de F estão apresentados na Tabela 2. Nota-se que, para o CBM, os tipos de manejo mas não de calagens, interferiram no processo em questão, sendo o maior valor verificado no CM. Não houve interação do manejo x calagens.

Tabela 2. Médias e probabilidades de F de carbono da biomassa microbiana (CBM) e do carbono do CO₂ (C-CO₂) liberado para os manejos Plantio Direto ou Cultivo Mínimo, com ou sem aplicação de calcário na superfície, dos solos obtidos durante a condução da cultura do feijão.

Causas de Variação		CBM ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco)	C-CO ₂ liberado ($\text{mg CO}_2 \text{ g solo seco dia}^{-1}$)
Manejos	Cultivo mínimo	96,87a	9,71
	Plantio direto	80,50b	10,02
Calagem	0 tonelada	91,62	10,43
	2 toneladas	85,75	9,30
Prob. de F	Manejo	0,00221**	0,63159ns
	Calagem	0,15191ns	0,10101ns
	Manejo x Calagem	0,63535ns	0,02396*
CV (%)		8,51	12,66

* e **: significativo a 5 e 1 %, respectivamente; (ns) não significativo. Médias seguidas de mesma letra, na coluna e dentro de cada parâmetro, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Para a taxa de C-CO₂ liberado não foram detectadas diferenças significativas entre os manejos e nem entre calagens, mas sim para a interação manejo x calagem (Tabela 2). Na interação, apresentadas na Tabela 3, podem ser verificadas diferenças significativas entre PD e CM para o tratamento sem calagem, com o maior valor observado no PD. Dentro de cada

manejo, somente foram verificadas diferenças dentro do PD, sendo o maior teor de C-CO₂ liberado observado para a área sem calagem.

Tabela 3. Taxa de carbono do CO₂ (C-CO₂) liberado para os manejos Plantio Direto ou Cultivo Mínimo, com ou sem aplicação de calcário na superfície, dos solos obtidos durante a condução da cultura do feijão.

Calagem / Manejo	C-CO ₂ liberado (mg CO ₂ g solo seco dia ⁻¹)	
	Plantio direto	Cultivo mínimo
0 tonelada	11,42aA	9,43aB
2 toneladas	8,62bA	9,98aA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Para as variáveis colonização micorrízica, número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares autóctones, matéria seca da parte aérea e produção das plantas de feijoeiro, as médias e as probabilidades de F estão apresentados na Tabela 4. Nota-se que, para a colonização micorrízica, os diferentes tipos de manejo e de calagens interferiram no processo em questão. Na interação manejo x calagem, apresentada na Tabela 5, podem ser observadas diferenças significativas, sendo a menor porcentagem de colonização micorrízica verificada no CM para o tratamento sem calagem.

Para a variável número de esporos, foram detectadas diferenças significativas entre os manejos, mas não entre os níveis de calagem ou para a interação manejo x calagem (Tabela 4). O maior número de esporos foi verificado no CM, o qual diferiu estatisticamente e foi o dobro do encontrado no PD.

As médias e as probabilidades de F para análise da matéria seca da parte aérea, estão apresentados na Tabela 4. Notas-se que, para peso da matéria seca não houve diferenças estatísticas significativas para nenhum dos tratamentos, enquanto que, para a produção, foram observados resultados significativos entre manejos e para interação manejo x calagem, sendo o maior valor observado no cultivo mínimo com calagem (Tabelas 4 e 6).

Tabela 4. Médias e probabilidades de F de colonização micorrízica (CM), número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares autóctones, matéria seca da parte aérea e produção de grãos, para os manejos Plantio Direto (PD) ou Cultivo Mínimo (CM), com ou sem aplicação de calcário na superfície, dos solos obtidos durante a condução da cultura do feijão.

Causas de Variação		CM (%)	nº. esporos / 100g de solo	Matéria seca (t ha ⁻¹)	Produção de grãos (Kg ha ⁻¹)
Manejos	PD	100,00a	26,12b	2,71	2148,05b
	CM	99,65b	53,00a	3,13	2341,05b
Calagem	0 tonelada	99,65b	39,75	2,89	2209,27
	2 toneladas	100,00a	39,37	2,95	2279,82
Prob. de F	Manejo	0,03535*	0,00413**	0,18851ns	0,00305**
	Calagem	0,03535*	0,95724ns	0,82871ns	0,16770ns
	Manejo x Calagem	0,03535*	0,66712ns	0,27629ns	0,01175*
CV (%)		0,28	35,25	19,96	4,21

* e **: significativo a 5 e 1 %, respectivamente; (ns) não significativo. Médias seguidas de mesma letra, na coluna e dentro de cada parâmetro, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Tabela 5. Porcentagem de colonização micorrízica para os manejos Plantio Direto ou Cultivo Mínimo, com ou sem aplicação de calcário na superfície, para cultura do feijão.

Calagem / Manejo	Colonização Micorrízica (%)	
	Plantio direto	Cultivo mínimo
0 tonelada	100,00aA	99,30bB
2 toneladas	100,00aA	100,00aA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Tabela 6. Produção de grãos da cultura do feijão para os manejos Plantio Direto ou Cultivo Mínimo, com ou sem aplicação de calcário na superfície.

Produção de grãos (Kg ha ⁻¹)		
Calagem / Manejo	Plantio direto	Cultivo mínimo
0 tonelada	2186,92aA	2316,62bA
2 toneladas	2109,17aB	2450,47aA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

4.2. Cultura do milho (plantio de verão, ano de 2002/2003)

As médias e as probabilidades de F dos parâmetros determinados nas análises das características químicas dos solos, em diferentes manejos e calagens, durante a condução da cultura do milho, estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Médias e as probabilidades de F dos parâmetros determinados nas análises das características químicas dos solos, tomados a 0 – 0,10 m de profundidade, durante a condução da cultura do milho, nos tratamentos com Plantio Direto (PD) ou Cultivo Mínimo (CM), com ou sem aplicação de calcário na superfície.

Causas de Variação		P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
		mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	-----	-----	mmol L ⁻¹ dm ⁻³	-----	-----	-----	%
Manejos	PD	28,43b	29,56	5,27	4,95	33,81	26,75	32,12	1,37a	97,77	63,50
	CM	44,56a	30,81	5,29	4,23	31,25	23,06	28,81	0,31b	87,43	65,75
Calagem	0 tonelada	36,50	30,43	5,21	4,56	29,92	22,62	32,00	0,94	89,11	62,31
	2 toneladas	36,50	29,93	5,35	4,61	35,12	27,18	28,93	0,75	96,09	66,93
Prob. de F	Manejo	0,04820	0,20882	0,83963	0,14015	0,50094	0,26096	0,11220	0,01014	0,11751	0,52701
		*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
	Calagem	1,00000	0,60742	0,19313	0,89817	0,18031	0,17027	0,13842	0,58748	0,27590	0,20179
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Manejo x	0,60471	0,00556	0,04282	0,04486	0,03713	0,06391	0,27835	0,63082	0,07845	0,16073
	Calagem	ns	**	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		39,06	6,14	3,54	19,48	22,07	24,71	12,45	77,93	13,00	10,44

* e **: significativo a 5 e 1 %, respectivamente; (ns) não significativo. Médias seguidas de mesma letra, na coluna e dentro de cada parâmetro, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Nota-se que houve um efeito significativo entre manejos e para interação, mas não entre calagens. Entre manejos, foram observadas diferenças para as variáveis P e Al, sendo os maiores valores de P verificados no CM e de Al no PD. A interação manejo x calagem mostrou diferenças significativas para MO, pH, K e Ca (Tabela 8). Na interação foram verificadas diferenças entre manejos, para o tratamento sem calagem, sendo os maiores valores de MO e K observados no CM e no PD, respectivamente. Dentro de manejos, para pH e Ca, com os maiores valores encontrados no PD, no tratamento com calagem, e de K, no PD sem calagem, enquanto que para MO, os maiores valores foram observados no CM, sem calagem.

Tabela 8. Médias dos parâmetros determinados nas análises das características químicas dos solos, tomados a 0 – 0,10 m de profundidade, durante a condução da cultura do milho, nos tratamentos com Plantio Direto (PD) ou Cultivo Mínimo (CM), com ou sem aplicação de calcário na superfície.

Calagem / Manejo	MO (g dm ⁻³)		pH (CaCl ₂)		K (mmol _c dm ⁻³)		Ca (mmol _c dm ⁻³)	
	PD	CM	PD	CM	PD	CM	PD	CM
0 tonelada	28,13aB	32,75aA	5,10bA	5,34aA	5,44aA	3,69bB	26,88bA	33,00aA
2 toneladas	31,00aA	28,88bA	5,45aA	5,25aA	4,46aA	4,77aA	40,75aA	29,50aA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Para as variáveis CBM e C-CO₂ liberado (Tabela 9), e colonização micorrízica, número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares autóctones, matéria seca da parte aérea e produção das plantas de milho (Tabela 10), as médias e as probabilidades de F mostram que não houve diferenças estatísticas significativas entre manejos, entre calagens ou para a interação manejo x calagem, para nenhum dos parâmetros estudados.

Tabela 9. Médias e as probabilidades de F de carbono da biomassa microbiana (CBM) e do carbono do CO₂ (C-CO₂) liberado para os manejos Plantio Direto ou Cultivo Mínimo, com ou sem aplicação de calcário na superfície, dos solos obtidos durante a condução da cultura do milho.

Causas de Variação		CBM ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco)	C-CO ₂ liberado (mg CO ₂ g solo seco dia ⁻¹)
Manejos	Plantio direto	115,31	12,01
	Cultivo mínimo	115,93	10,92
Calagem	0 tonelada	110,13	11,44
	2 toneladas	121,13	11,50
Prob. de F	Manejo	0,91483ns	0,05258ns
	Calagem	0,09285ns	0,91367ns
	Manejo x Calagem	0,21489ns	0,63375ns
CV (%)		10,25	8,56

* e **: significativo a 5 e 1 %, respectivamente; (ns) não significativo. Médias seguidas de mesma letra, na coluna e dentro de cada parâmetro, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Tabela 10. Médias e as probabilidades de F de colonização micorrízica (CM), número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares autóctones, matéria seca da parte aérea e produção de grãos, para os manejos Plantio Direto (PD) ou Cultivo Mínimo (CM), com ou sem aplicação de calcário na superfície, dos solos obtidos durante a condução da cultura do milho.

Causas de Variação		CM (%)	nº. esporos / 100g de solo	Matéria seca (t ha ⁻¹)	Produção de grãos (Kg ha ⁻¹)
Manejos	PD	94,95	119,63	10,43	9293,75
	CM	99,58	116,50	9,30	7177,25
Calagem	0 tonelada	96,20	113,50	8,85	8450,75
	2 toneladas	98,33	122,63	10,89	8020,25
Prob. de F	Manejo	0,05301ns	0,67411ns	0,57110ns	0,16513ns
	Calagem	0,33953ns	0,23208ns	0,30634ns	0,76344ns
	Manejo x Calagem	0,19021ns	0,19826ns	0,52348ns	0,92198ns
CV (%)		4,32	12,09	38,15	34,22

* e **: significativo a 5 e 1 %, respectivamente; (ns) não significativo. Médias seguidas de mesma letra, na coluna e dentro de cada parâmetro, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

5. DISCUSSÃO

Para a variável P, o maior valor observado no PD, para a cultura de feijão, pode ser explicado pelo não-revolvimento do solo, favorecendo o acúmulo de nutrientes na superfície, como pela baixa mobilidade do elemento no solo (SOUZA & ALVES, 2003, p. 133-139). Resultado semelhante foi observado por Valpassos et al. (2001, p. 1539-1545), que obteve $35,26 \text{ mg dm}^{-3}$, em plantio direto sem calagem.

Para a cultura do milho, o maior valor de P foi observado no CM. Souza & Alves (2003, p. 133-139), também relataram resultados semelhantes ($30,0 \text{ mg dm}^{-3}$ no PD e $36,6 \text{ mg dm}^{-3}$ no CM), o que foi explicado pela eficácia do CM em distribuir este nutriente no perfil do solo.

Com relação ao calcário aplicado em superfície, a dose de 2 t ha^{-1} mostrou ser mais eficiência que a dose de 0 t ha^{-1} , sendo detectadas diferenças significativas para os parâmetros pH, Ca, Mg, CTC e V % para a cultura do feijoeiro. Efeitos positivos da calagem em superfície também foram relatados por Caíres et al. (2000, p. 161-169; 2003, p. 275-286). Caíres et al. (2001, p. 1029-1040) verificaram que o calcário se mostrou eficiente quando aplicado de modo crescente ($0, 2, 4$ e 6 t ha^{-1}), onde a maior dose apresentou os menores valores de H+Al e Al e os mais elevados para os demais parâmetros.

Para K, houve resultado significativo para interação na cultura de milho. O maior valor, verificado para PD sem calagem, poderia ser explicado pelo maior acúmulo do nutriente na superfície do solo (SOUZA & ALVES, 2003, p. 133-139). Resultado semelhante foi relatado por Valpassos et al. (2001, p. 1539-1545) para área de PD sem calagem, que observaram valor de $4,6 \text{ mmolc dm}^{-3}$. Mesmo em áreas de PD com calagem (0 e 2 t ha^{-1}), a dose zero se mostra igual ou superior quando comparada à dose de 2 t ha^{-1} , para o potássio (CAIRES et al., 2001, p. 1029-1040).

Para Ca e Mg, os maiores valores foram observados para calagem 2 t ha^{-1} na cultura do feijão. Caires et al. (2001, p. 1029-1040) também observaram os maiores valores de Ca e Mg nas mesmas condições de calagem. Para a cultura do milho, os maiores valores de Ca foram observados para PD com 2 t ha^{-1} de calcário. Os valores mais elevados na camada superficial poderiam ser atribuído à adição de calcário, à reciclagem de Ca via decomposição de resíduos e ao aumento da CTC efetiva do solo, capaz de reter mais cátions nessa camada. Resultados similares foram relatados por Franchini et al. (1999, p. 533-542), Caires et al. (2000, p. 161-169; 2001, p. 1029-1040; 2003, p. 275-286), Pires et al. (2003, p. 121-131) e Souza & Alves (2003, p. 133-139).

Os maiores valores de pH também foram observados na dose 2 t ha^{-1} de calagem. Como observado por Caires et al. (2001, p. 1029-1040), tanto no sistema PD como no CM, os valores de pH foram relacionados com a correção da acidez do solo. A ocorrência de acidificação mais acentuada na camada superficial dos solos sob PD, que leva à necessidade da calagem tem sido relatada (PIRES et al., 2003, p. 121-131; SOUZA & ALVES, 2003, p. 133-139), porém não foi verificado por Valpassos et al. (2001, p. 1539-1545).

A elevação do pH no PD com adição de calcário não se deve apenas à adição do calcário em superfície, mas também da presença de resíduos vegetais que contribuem para correção do solo. Franchini et al. (1999, p. 533-542) observaram o potencial dos resíduos vegetais na correção do pH do solo, onde constataram que, além da correção, os resíduos vegetais disponibilizam outros nutrientes para o solo. O efeito da calagem pode ter sido potencializada pela presença de resíduos vegetais sobre o solo (FRANCHINI et al., 1999, p. 533-542; PIRES et al., 2003, p. 121-131; SOUZA & ALVES, 2003, p. 133-139).

Os valores para a capacidade de troca catiônica (CTC), para a cultura do milho, se mostraram mais elevados com a adição de 2 t ha^{-1} de calcário. Esse efeito poderia ser atribuído ao aumento da energia de ligação por Ca e Mg, em consequência do aumento da densidade de cargas na CTC dependente de pH. A CTC se manteve elevada, não apenas em função da correção do solo mas também pela presença de resíduos vegetais, o menor revolvimento do solo e a não-incorporação do calcário (FRANCHINI et al., 1999, p. 533-542; SOUZA & ALVES, 2003, p. 133-139). O mesmo efeito foi observado em PD sem adição de calcário, onde os valores de CTC se mantiveram elevados mostrando os efeitos dos resíduos vegetais sobre o solo (VALPASSOS et al., 2001, p. 1539-1545).

O CM, para a cultura do feijão e do milho, apresentou os menores valores para Al, fato que se deve principalmente a escarificação do solo, que promove a incorporação parcial de corretivos, pois causa pouca inversão do solo o suficiente para facilitar o maior contato do calcário com as partículas de solo (FURLANI, 2000, p.12). A elevação do pH tem como efeito direto a precipitação do Al. Os teores de Al trocáveis também foram reduzidos com a adição dos resíduos vegetais no solo, em função da escarificação, decorrente da formação de complexos orgânicos solúveis presentes nos restos das plantas. Resultados semelhantes também foram observados por outros autores (CAIRES et al., 2001, p. 1029-1040; FRANCHINI et al., 1999, p. 533-542; PIRES et al., 2003, p. 121-131; SOUZA & ALVES, 2003, p. 133-139).

O maior valor para MO, verificado na cultura do milho no CM sem calagem, pode ser atribuído a escarificação, o que promove a incorporação dos resíduos vegetais com pouca inversão do solo, mas o suficiente para facilitar o maior contato destes resíduos com as partículas de solo (FURLANI, 2000, p.12).

O menor revolvimento do solo no PD e no CM, em relação ao convencional, tem mostrado que os sistemas PD e CM tendem a se igualar com o passar dos anos. Esta tendência à homogeneização dos sistemas pode ser explicada tanto pela não movimentação do solo, que proporciona a descida de nutrientes no perfil do solo por meio de canais formados por raízes decompostas, como pela ação de organismos do solo e formação de complexos orgânicos. Assim, o PD pode influenciar a eficiência da calagem, além de mostrar melhorias nas condições químicas do solo, com a matéria orgânica sendo mantida em níveis similares às do sistema natural. Independente do modo de aplicação do calcário, os resultados mostraram ser possível evitar a interrupção do PD mediante sua aplicação na superfície (CAIRES et al., 2003, p. 275–286; SOUZA & ALVES, 2003, p. 133-139), como também observado no presente trabalho.

Os diferentes manejos também podem alterar os teores de CBM do solo, assim como a temperatura, a umidade, a aeração e a disponibilidade de substrato, entre outros fatores. No PD, os resíduos das culturas anteriores, mantidos na superfície do solo, permitem uma menor variação na temperatura do solo e, conseqüentemente, retenção da umidade e aeração mais constantes. Com a permanência dos resíduos na superfície, sua mineralização se dá de forma gradual, podendo promover aumentos nos teores de CBM (VARGAS & SCHOLLES, 2000, p. 35; D'ANDREIA et al., 2002, p. 913-923). Alguns autores relatam valores de CBM em solo sob PD superiores aos verificados neste trabalho, como Valpassos et al. (2001, p.153 - 1545) para solo de

cerrado, no Mato Grosso do Sul (469,135 $\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo seco), D'Andréa et al. (2002, p. 913-923) para solo de cerrado, Goiás (428,5 $\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo seco), Vargas & Scholles (2000, p. 35) para solo do Rio Grande do Sul (250 - 300 $\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo seco) e Oliveira et al. (2001, p. 863-871) para solo de cerrado, Distrito Federal (431 $\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo seco). Apesar das diferenças entre os valores encontrados, estes autores concordam com a eficácia do PD em aumentar, a longo prazo, o teor de CBM do solo. No entanto, contrapondo ao relatado por estes pesquisadores, neste trabalho foi verificado que os valores de CBM encontrados para CM foram superiores ao do PD. Este resultado poderia ser explicado em função da escarificação que promove a incorporação de resíduos vegetais da superfície, aumentando a aeração do solo e disponibilização de substratos, rompendo os agregados, o que estimula a atividade microbiana (VARGAS & SCHOLLES, 2000, p. 35).

Para a cultura do feijão, o CBM mostrou correlação positiva para a produção de grãos (Apêndice A). Para o milho, o C-CO₂ liberado mostrou correlação positiva e significativa para CBM, e o CBM, para MO, pH, Mg e H+Al (Apêndice B). Para a cultura do feijão Gama-Rodrigues et al. (1997, p. 361-365) citam que os microrganismos, de um modo geral, apresentam estreita relação com o acúmulo de carbono orgânico nos solos, o qual está também relacionado ao conteúdo de matéria orgânica e, conseqüentemente, à atividade respiratória no solo. Em um trabalho realizado na região sul do Brasil, Cattelan & Vidor (1990, p. 125-132) observaram a importância da presença da cobertura vegetal sobre a microbiota. Seus resultados mostraram um decréscimo de 65 % na biomassa microbiana quando se retirou a vegetação de um campo nativo, acarretando em menores valores de biomassa e atividade microbiana quando comparados aos demais manejos. A biomassa microbiana foi associada também com o acúmulo de carbono orgânico total no solo de florestas e cerrados naturais, o qual, por sua vez, tem sido associado aos teores de matéria orgânica dos solos (INSAM, 1990, p. 525-532). Como a biomassa microbiana apresenta rápida ciclagem e responde às flutuações sazonais de umidade e temperatura, ao cultivo e ao manejo de resíduos, esta pode ser utilizada como um indicador biológico dos níveis de matéria orgânica do solo, ou como índice para aferição da sustentabilidade de sistemas de produção (MELE & CARTER, 1993, p. 57-64). Um aumento no C-CO₂ liberado demonstra uma maior atividade dos microrganismos.

A atividade respiratória pode ser alterada por diferentes manejos e tratamentos do solo, como também pela temperatura, umidade, aeração e disponibilidade de substrato, entre outros. Os

resultados obtidos tanto para cultura do feijoeiro como do milho, mostram que a taxa C-CO₂ liberado no PD, apesar de superior, não foi estatisticamente diferente do valor do CM. Estes resultados diferem dos obtidos por diversos autores, como Vargas & Scholles (2000, p. 35), que relataram valores de G-CO₂ liberado no PD superior ao CM; D'Ándrea et al. (2002, p.913-923), que obtiveram 12,83 µg CO₂ g⁻¹ h⁻¹, e Valpassos et al. (2001, p. 1539-1545), que encontraram valor de PD inferior ao CM (4.107 e 4.724 µg g⁻¹ dia⁻¹ C-CO₂, respectivamente). Como a taxa de respiração permite avaliar o aumento da maturidade da matéria orgânica do solo à medida que seu valor decresce, caracterizando enriquecimento do solo (INSAM & DOMSCH, 1988, p. 177-188), e como uma maior atividade microbiana geralmente pode ser relacionada com uma taxa mais elevada de mineralização e ciclagem rápida de nutrientes (PRIHA & SMOLANDER, 1994, p. 301-308), é possível dizer que a incorporação do material de cobertura, por meio de uma escarificação, nesta área de 20 anos de PD, pouco alterou a estabilidade do sistema, o que pode ser comprovado pela não diferença estatística entre os valores de G-CO₂ liberado no PD e CM e pela pequena diferença entre valores verificados para CBM entre estes manejos.

As diferenças encontradas entre calagens dentro do PD podem ser explicadas pela influência do pH do solo, onde valores baixos de pH reduziram a biomassa microbiana e a produção de C-CO₂ em relação à faixa neutra de pH (D'ANDREIA et al., 2002, p. 913-923). Como os pH nas áreas estudadas não foram baixos, a adição de calcário pode ter selecionado alguns microrganismos em detrimento de outros, o que pode ter influenciado a taxa de C-CO₂ liberado.

A determinação da respiração basal pela quantificação do C-CO₂ liberado é um procedimento importante para avaliar a atividade dos microrganismos do solo, pois a decomposição dos resíduos orgânicos é envolvida por reações microbianas de oxidação, onde os microrganismos obtêm o carbono e energia para o seu crescimento e funções celulares, pela transformação de compostos orgânicos complexos em substratos mais simples. Nestas reações, parte do carbono presente no resíduo é assimilado pela microbiota como fonte de energia para construção do protoplasma celular e a outra parte é perdida na forma de CO₂. A respiração e a atividade enzimática, em geral ou específica do solo, podem ser usadas como indicadores de qualidade (CAMPBELL et al., 1992, p. 417-427), pois apontam para alterações mesmo antes de uma acumulação nas plantas ou de uma erosão serem detectadas. O monitoramento das comunidades microbianas, por meio destes parâmetros, tem sido utilizado como indicador da

qualidade do solo em função dos diferentes sistemas de manejo e rotações de culturas, podendo ajudar na detecção de alterações nas populações microbianas resultantes de mudanças ambientais.

A micorriza é um sistema biológico benéfico para as plantas, principalmente em situações de estresse edafoclimático comumente encontrado nos trópicos e pode ser utilizada no aumento da produção agrícola. O preparo do solo é o mais direto e drástico estresse cultural que incide sobre a formação das micorrizas. A retirada da vegetação que acarreta na quebra do fluxo de exsudados radiculares e na disponibilidade de fotoassimilados, afeta as populações de fungos micorrízicos arbusculares (COLOZZI-FILHO et al., 1999, p. 487-508). Os diferentes manejos e tratamentos também alteram a colonização micorrízica e o número de esporos do solo que, por sua vez, podem ser influenciados pela temperatura, umidade e aeração, entre outros fatores. A maior colonização micorrízica, para a cultura do feijoeiro, foi encontrada no PD. Comparado ao cultivo convencional, Goss & Varennes (2002, p. 1167-1173) verificaram que o PD e o CM mostram os maiores valores de colonização. Resultados semelhantes também foram relatados por Oliveira & Sanders (1999, p. 1247-1254), onde a porcentagem de colonização no PD se mostrou superior ao do CM.

Alguns autores têm relatado valores de colonização micorrízica sob PD, inferiores aos verificados neste trabalho, como Miranda et al. (2001, p.2) para solo de cerrado, em Planaltina, para cultura do feijão (67 %, ano agrícola 1994 e 46 %, ano agrícola 1995) e para a cultura do milho (79 %, ano agrícola 1993/94 e 1994/95) e Alvarenga et al. (1999, p. 620) em solos de cerrado, Minas Gerais, para a cultura do milho, com a colonização micorrízica variando de 17 a 57 %. Para Siqueira & Franco (1988, p. 152) a maior colonização observada para a cultura do feijoeiro, em relação à do milho, foi justificada em função da dependência micorrízica, que para o feijão foi de aproximadamente 550 % e para o milho, 380 %.

Como o PD tem mostrado ser mais eficiente na manutenção da temperatura do solo nas diferentes estações do ano em especial no inverno, esta colabora para que a colonização micorrízica das raízes do feijão ocorra mais rapidamente quando comparado a sistemas de pousio e cultivo convencional como observado por Oliveira & Sanders (1999, p. 1247-1254). Da mesma forma, para a cultura do milho, estes autores relataram que, quando a planta é utilizada em sucessão a outra cultura sem revolvimento do solo, comparado ao cultivado em seqüência ao revolvimento do solo, apresenta uma maior micorrização. Assim como relatado por Andrade et al. (1995, p. 195) e verificado neste trabalho, a maior colonização micorrízica foi encontrada na

dose de 2 t ha⁻¹ calcário. Os autores estudando a cultura do café, em Latossolo roxo, no Paraná, observaram que a colonização micorrízica aumentou com a adição de calcário, e comentaram que os efeitos da calagem sobre a simbiose micorrízica não são claros porque, além de atuar diretamente sobre o fungo, a adição de calcário acarreta modificações químicas no solo que alteram o desenvolvimento da planta e da simbiose.

Para a cultura do feijoeiro, o número de esporos foi mais elevado no CM e, tal como neste trabalho, Colozzi-Filho et al. (1999, p. 487-508) relataram que a esporulação dos fungos micorrízicos arbusculares também foi menor no PD comparado ao CM, onde o solo foi preparado com aração e gradagem. Este fato foi explicado em função da desestruturação do solo pela aração e gradagem. A rede de hifas de fungos micorrízicos arbusculares é fragmentada pela ação mecânica dos implementos sobre o solo e o conteúdo celular das hifas pode ser extravasado, inviabilizando-as como propágulos e diminuindo o potencial de infectividade natural do solo. Além da destruição das hifas, o revolvimento do solo provocado pela aração pode expor os propágulos (esporos, hifas e fragmentos de raízes colonizadas) na superfície do solo à ação de altas temperaturas e de predadores que podem inviabiliza-los. Desta forma, o PD e a rotação de culturas tendem a aumentar o potencial de inóculo natural destes fungos no solo (COLOZZI-FILHO et al., 1999, p. 487–508). A elevada colonização observada no plantio direto e a maior esporulação em cultivo mínimo reforçam a hipótese da maior estabilidade do sistema plantio direto.

Em condições de PD sob solo de cerrado, em Planaltina, Miranda et al. (2001, p. 2) observaram que o número de esporos para a cultura de feijão variou de 67 a 97 por 50 g (ano agrícola de 1994 e 1995, respectivamente), e, para a cultura do milho variou de 96 a 100 por 50 g (ano agrícola de 1993/94 e 1994/95, respectivamente). Estes valores foram superiores e inferiores, respectivamente, aos observados, para estas culturas, neste trabalho. O maior número de esporos encontrados na cultura do milho, em relação ao do feijão se deve, possivelmente, ao efeito estimulatório de gramíneas sobre a esporulação dos FMAs (COLOZZI-FILHO et al., 1999, p. 498). No presente trabalho, para a cultura do feijão, a esporulação mostrou correlação positiva e significativa para CBM e V, e correlação negativa para P. Para esta cultura também foi verificada correlação positiva e significativa entre produção de massa seca e produção de grãos (Apêndice A). Para a cultura do milho, a esporulação mostrou correlação positiva e significativa para MS (Apêndice B).

Estudos mostram também que, para esta simbiose, um dos principais responsáveis pela atividade são os resíduos de matéria orgânica que ficam na superfície. Eles atuam na multiplicação dos fungos e na mudança do pH do solo, condições estas que além de atuarem na variabilidade da população de fungos também favoreceram a associação micorrízica (COLOZZI-FILHO et al., 1999, p. 487-508; MARTINS et al., 1999, p. 665-674; BORIE et al., 2002, p. 151-160; PALENZUELA et al., 2002, p. 170-175). Com relação à aplicação de calcário, estudos têm mostrado que esta não altera de forma significativa a população de fungos micorrízicos quando em doses baixas. No entanto, em caso de doses mais altas, como 4 t ha^{-1} , Martins et al. (1999, p. 665–674) observaram um decréscimo na densidade de esporos, e sugeriram a ocorrência de diferentes graus de sensibilidade destes fungos à calagem.

Plantas que apresentam simbioses com fungos micorrízicos arbusculares têm apresentado maiores valores de matéria seca quando comparado às plantas não micorrizadas (MARTINS et al., 1999, p. 665-674). No presente trabalho, não foram observadas diferenças significativas para MS para os diferentes tratamentos, nas duas culturas estudadas. Para produção de grãos, na cultura do feijão, foram observados resultados significativos entre manejos e para a interação manejo x calagem, onde o maior valor verificado foi no CM com adição de calcário. Para a cultura do milho, não foram observados resultados significativos para nenhum dos tratamentos. No entanto, correlação positiva e significativa para matéria seca foi verificada para a cultura do milho (Apêndice B). A alta colonização micorrízica observada pode ter contribuído para este resultado.

O revolvimento do solo, como acontece no CM, expõe o solo à altas temperaturas promovem solubilização de nutrientes até então indisponíveis à planta (RANDIG et al., 2002, p. 135-140), o aumento no pH do solo pela calagem também aumenta a disponibilidade de nutrientes, como Ca, Mg, P e K, que poderiam ser absorvidos pela planta e resultar em maior acúmulo de matéria seca e produção de grãos (CAIRES et al., 2001, p. 1029-1040), como também observado neste trabalho.

Com relação a aplicação de calcário, Caíres et al. (2003, p. 275-286), em latossolo vermelho distrófico, no Paraná, observaram que inicialmente o calcário incorporado ($2153,0 \text{ Kg ha}^{-1}$) proporcionava maior produção de grãos de soja quando comparado ao calcário aplicado na superfície (1.862 Kg ha^{-1}) e que em um período depois (período de 3 anos), a produção de grãos de soja foi superior no calcário aplicado na superfície (4.217 Kg ha^{-1}) em relação ao calcário

incorporado (4.072 Kg ha^{-1}). A dose de calcário também interferiu na produção. Assim como neste trabalho, Caíres et al. (2000, p. 161-169) observaram que as doses mais elevadas de calcário proporcionaram maiores valores de produção de grãos para as culturas de soja e milho. Para a cultura do milho, assim como neste trabalho, Pires et al. (2003, p. 121-131) encontraram que a maior produção de grãos de milho foi no PD sem calagem (8.998 Kg ha^{-1}). Além da calagem e do manejo utilizado, a colonização micorrízica também contribui para aumentar a produção das plantas. Siqueira & Franco (1988, 235p.) observaram um aumento de 32 % na produção do feijão quando micorrizado e com aplicação de calcário (801 Kg ha^{-1}). Por outro lado, sem a aplicação de calcário, a micorrização foi suficiente para aumentar a produção de grãos de feijão em 10 – 29 %, e a de milho, para índices ainda mais elevados (30 – 60%).

Os resultados do presente trabalho, para os parâmetros avaliados, mostram que, independente do manejo utilizado e o modo de aplicação do calcário, é possível evitar a interrupção do PD mediante aplicação de calcário na superfície, e que, a incorporação do material de cobertura, por meio de uma escarificação, pouco alterou a estabilidade do sistema.

A atividade biológica é um indicativo do potencial produtivo do solo e está diretamente relacionada ao seu aproveitamento na agricultura. Este processo é particularmente relevante na região do cerrado, onde se constitui em componente básico do manejo adequado dos solos visando à boa produtividade das culturas com retornos econômicos.

6. CONCLUSÕES

Para a cultura do feijão: seis meses após a escarificação e aplicação de calcário na superfície, foram observadas alterações para características químicas, CBM, C-CO₂ liberado, colonização micorrízica, número de esporos do solo e produção de grãos, mas não para peso da matéria seca das plantas.

Para a cultura do milho: um ano após a escarificação e aplicação de calcário na superfície, foram observadas alterações para características químicas, mas não para as microbiológicas, peso da matéria seca ou produção de grãos das plantas.

Conclui-se que, a incorporação do material de cobertura e a calagem, por meio de uma escarificação, nesta área de 20 anos de PD, pouco alterou a estabilidade do sistema, o que pode ser comprovado pela não diferença estatística entre os valores de C-CO₂ liberado e pelas pequenas diferenças dos valores de CBM, colonização micorrízica e número de esporos entre PD e CM. Assim, é possível evitar a interrupção do PD por meio da aplicação de calcário na superfície.

7. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma de estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 115-119, 1995.

ALCÂNTARA, F.A. de; FURTINI NETO, A.E; PAULA, M.B. de; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J.A. Adubação verde na recuperação da fertilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 277-288, 2000.

ALMEIDA, F.S. de. Influências da cobertura morta do plantio direto na biologia do solo. In: FANCELLI, A. L. (ed.) **Atualização em plantio direto**. Piracicaba: Fundação Cargill S. A., 1985. p. 103-144.

ALVARENGA, M.I.N.; SIQUEIRA, J.O.; DAVIDE, A.C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 617-625, 1999.

ALVARENGA, R.C. **Potencialidades de adubos verdes para conservação e recuperação de solos**. Viçosa, 1993. 112p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J; FERNANDES, S.B.V.; BAYER, C Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 679-686, 1999.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 21, p. 471-479, 1982.

ANDRADE, D.S.; COLOZZI-FIHO, A.; PAVAN, M.A.; BALOTA, E.L.; CHAVES, J.C.D. Atividade microbiana em função da calagem em um solo cultivado com cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 191-196, 1995.

BALOTA, E.L. Alterações microbiológicas em solo cultivado sob o plantio direto. In: PEIXOTO, R.T.G.; AHRENS, D.C.; SAMAHA, M.J. (eds.) **Plantio direto** – o caminho para uma agricultura sustentável. Ponta Grossa: Instituto Agrônomo do Paraná, 1997. p. 222-233.

BALOTA, E.L.; ANDRADE, D.S.; COLOZZI-FILHO, A. Avaliações microbiológicas em sistemas de preparo do solo e sucessão de culturas In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE PLANTIO DIRETO, 1., Ponta Grossa, 1997. Plantio Direto para uma agricultura sustentável. *Anais...* Ponta Grossa: Instituto Agrônomo do Paraná, 1997. p. 9-11.

BARIZON, R.R.M. **Calagem na superfície para a cultura da soja, em semeadura direta sobre *Brachiaria brizantha*.** Botucatu, 2001. 88p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

BONONI, V. L. R. et al. REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 2., São Paulo, 1987. *Anais...* São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente; Secretaria da Agricultura; Universidade de São Paulo, 1987. 21p.

BORIE, F.; REDEL, Y.; RUBIO, R.; ROUANET, J.L.; BAREA, J.M. Interactions between crop residues application and mycorrhizal developments and some soil-root interface properties and

mineral acquisition by plants in an acidic soil. **Biological Fertility Soils**, Berlim, v. 36, p. 151-160, 2002.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, n. 91-98, 1990.

CAIRES, E.F.; BANZATO, D.A.; FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 161-169, 2000.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 1029-1040, 2001.

CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, n. 27, p. 275-286, 2003.

CAMPBELL, C.A.; MOULIN, A.P.; BOWREN, K.E.; JANZEN, H.H.; TOWNLEY-SMITH, L.; BIEDERBRCK, V.O. Effect of crop rotations on microbial biomass, specific respiratory activity and mineralizable nitrogen in a Black Chernozemic soil. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v. 72, p. 417-427, 1992.

CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Sistemas de culturas e a população microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 125-132, 1990.

COLOZZI-FILHO, A. Plantio direto: microrganismos e processos. In: ASSOCIAÇÃO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO. **Atualização em fertilidade e biodinâmica no sistema plantio direto**. Brasília: APDC, 2000. p. 29-42 (Programa de treinamento).

COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E.L.; ANDRADE, D.S. Microrganismos e processos biológicos no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (Editores). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. p. 487-508.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, 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 Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 913-923, 2002.

DEMATTÊ, J.L.I. **Levantamento detalhado dos solos do campus experimental de Ilha Solteira**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1980. 114p. (mimeografado).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistemas de produção do feijoeiro**. 2004. Disponível em: [Http:// www.cnpaf.embrapa.br/pesquisa/feijao/feijao.htm](http://www.cnpaf.embrapa.br/pesquisa/feijao/feijao.htm)>. Acesso em 10 jan. 2004.

FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 533-542, 1999.

FREITAS, P.L.; BERNARDI, A.C.C. Princípios e critérios para adotar o sistema plantio direto. In: ENCONTRO PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 7, Sorriso, MT. 2003. *Anais...* Sorriso: UFMT, 2003. p. 59-64.

FURLANI, C.E.A. **Efeito do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Botucatu, 2000. 218p. Tese (Doutorado em

Agronomia – Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 361-365, 1997.

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, p. 234-244, 1963.

GOMES, I.; KARAZAWA, M. Como a planta de milho se desenvolve. In: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná (eds.). **O milho no Paraná**. Londrina: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1982. p. 33-50.

GOSS, M.J.; VARENNES, A. de. Soil disturbance reduces the efficacy of mycorrhizal associations for early soybean growth and N₂ fixation. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 34, p. 1167-1173, 2002.

HERNANDEZ, F.B.T.; LEMOS FILHO, M.A.; BUZETTI, S. **Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: UNESP - Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, 1995. 45p. (Série Irrigação, 1).

INSAM, H. Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime? **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 22, p. 525-532, 1990.

INSAM, H.; DOMSCH, K.H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, New York, v. 15, p. 177-188, 1988.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 73, p. 288-300, 1964.

LEVIEN, R. **Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para a implantação da cultura do milho (*Zea mays* L.)**. Botucatu, 1999. 305p. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

MANNERING, J.V.; MEYER, L.D. The effects of various rates of surface mulch on infiltration and erosion. **Soil Science Society American Proceeding**, Wisconsin, v. 27, p. 84-86, 1963.

MARTINS, C.R.; MIRANDA, J.C.C. de; MIRANDA, L.N. de. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida setifolia* Kunth em áreas degradadas do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 665-674, 1999.

MELE, P.M.; CARTER, M.R. Effect of climatic factor on the use of microbial biomass as an indicator of changes in soil organic matter. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. (Ed.). **Soil organic dynamics and sustainability of tropical agriculture**. New York: John Wiley & Sons, 1993. p. 57-64.

MELLO, L.M.M. **Efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo na cultura de soja (*Glycine max* (L.) MERRILL) e sobre algumas propriedades de um latossolo vermelho escuro de cerrado**. 1988. 132p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu.

MERCANTE, F.M. Biomassa e a atividade microbiana: indicadores da qualidade do solo. **Direto no Cerrado**, Brasília, março/abril, p. 9-10, 2001.

MIRANDA, J.C.C. de; MIRANDA, L.N. de; VILELA, L.; VARGAS, M.A.; CARVALHO, A.M. de. Manejo da micorriza arbuscular por meio da rotação de culturas nos sistemas agrícolas do cerrado. **Comunicado Técnico – Embrapa Cerrados**, Planaltina, n. 42, p. 1-3, 2001.

MIYASAKA, S.; CAMARGO, O.A.; CAVALERI, P.A. **Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no estado de São Paulo**. Campinas: Fundação Cargill, 1984, 138p.

NEHMI, I.M.D.; FERRAZ, J.V.; NEHMI FILHO, V.A.; SILVA, M.L.M. (Coords.) Milho. In: _____. **AGRIANUAL 2003**: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: Argos, 2001. p. 413-434. (Agrianual, 2003).

OLIVEIRA, A.A.R.; SANDERS, F.E. Effect of management practices on mycorrhizal infection. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 7, p. 1247-1254, 1999.

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, p. 863 – 871, 2001.

PALENZUELA, J.; AZCÓN-AGUILAR, C.; FIGUEROA, D.; CARAVACA, F.; ROLDÁN, A.; BAREA, J.M. Effects of mycorrhizal inoculation of shrubs from Mediterranean ecosystems and composted residue application on transplant performance and mycorrhizal developments in a desertified soil. **Biological Fertility Soils**, Berlin, v. 36, p. 170-175, 2002.

PAULA, M.B.; ASSIS, R.P.; BAHIA, V.G.; OLIVEIRA, C.V. Efeitos do manejo dos resíduos culturais, adubos verdes, rotação de culturas e aplicação de corretivos nas propriedades físicas e recuperação dos solos. **EPAMIG- Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 191, p. 66-70, 1998.

PHILLIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots for rapid assessment of infection. **Transaction of British Mycology Society**, Cambridge, v. 55, p. 158-161, 1970.

PINOTTI, V. S. **Influências do local de aplicação e parcelamento da adubação de cobertura na cultura do milho (*Zea mays* L.) em plantio direto**. 2000. 31p. Monografia (trabalho de graduação em Agronomia)-Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

PINTO, M.N. **Cerrado**: caracterização, ocupação e perspectivas. 2. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1994. p. 11-13.

PIRES, F.R.; SOUZA, C.M.; QUEIROZ, D.M.; MIRANDA, G.V.; GALVÃO, J.C.C. Alteração de atributos químicos do solo e estado nutricional e características agronômicas de plantas de milho, considerando as modalidades de calagem em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 121-131, 2003.

PRIHA, O.; SMOLANDER, A. Fumigation-extraction and substrate-induced respiration derived microbial biomass C, and respiration rate in limed soil of Scots pine sampling stands. **Biological Fertility of Soils**, Berlim, v. 17, n. 4, p. 301-308, 1994.

RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análises de solos para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).

RANDIG, O.; MEDEIROS, C.A.B.; SPERANDIO, C.A. Efeito da desinfestação do solo pelo uso da energia solar sobre fungos micorrízicos arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 135-140, 2002.

SÁ, J.C.M. Plantio direto em campos nativos. In: PEIXOTO, R.T.G.; AHRENS, D.C.; SAMAHA, M.J. (eds.) **Plantio direto** – o caminho para uma agricultura sustentável. Ponta Grossa: Instituto Agronômico do Paraná, 1997. p. 53-65.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide, version 6**. 12 ed., Cary, 1996. 1686p.

SILVA, E.M.R.; ALMEIDA, D.L.; FRANCO, A.A.; DÖBEREINER, J.A adubação verde no aproveitamento do fosfato em solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 9, n. 85-88, 1985.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. Plantio direto no cerrado In: PEIXOTO, R.T.G.; AHRENS, D.C.; SAMAHA, M. J. (eds.) **Plantio direto** – o caminho para uma agricultura sustentável. Ponta Grossa: Instituto Agrônômico do Paraná, 1997. p. 158-184.

SILVEIRA, P.M.; ZIMMERMANN, F.J.P.; SILVA, S.C.; CUNHA, A.A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 2057-2064, 2000.

SIQUEIRA, J.D.; FRANCO, A.A. **Biotechnologia do solo**: fundamentos e perspectivas. Brasília: Editora Gráfica Nagy Ltda., 1988. 235p.

SIQUEIRA, R. **Sistemas de preparo em diferentes tipos de cobertura vegetais do solo**. Botucatu, 1999. 191p. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SOUZA, Z.M.; ALVES M.C. Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, n. 27, p. 133-139, 2003.

TESTA, V.M.; TEIXEIRA, L.A.J.; MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, p. 107-114, 1992.

VALPASSOS, M.A.R.; CAVALCANTE, E.G.S.; CASSIOLATO, A.M.R.; ALVES, M.C. Effects of soil management systems on soil microbial activity, bulk density ad chemical properties. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1539-1545, 2001.

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

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 35-42, 2000.

VARGAS, M.A.T.; MENOE, I.C.; SUHET, A.R.; PERES, J.R.R. Fixação biológica do nitrogênio. In: ARANTES, N.E.; SOUZA, P.I.M. (eds.) **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p. 159-182.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. **SANEST**: Sistema de análise estatística para microcomputadores. Piracicaba: CIAGRI/ESALQ/USP, 1993. 138p.

8. APÊNDICE

Apêndice A. Correlação entre os parâmetros estudados para a cultura do feijão.

Variável	Coloniz.	C-CO ₂	CBM	MS	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V	Prod.
Esporos	-0,38ns	-0,49ns	0,50*	-0,10ns	-0,67**	-0,18ns	0,23ns	-0,51*	0,34ns	-0,12ns	-0,51*	-0,30ns	-0,12ns	0,50*	0,19ns
Coloniz.	-	0,26ns	-0,28ns	-0,19ns	0,41ns	0,11ns	0,21ns	0,38ns	0,32ns	0,48ns	0,04ns	0,00ns	0,48ns	0,17ns	-0,03ns
C-CO ₂	-	-	0,09ns	0,43ns	0,13ns	-0,03ns	-0,26ns	0,12ns	-0,45ns	-0,25ns	0,45ns	0,13ns	-0,19ns	-0,43ns	0,22ns
CBM	-	-	-	0,28ns	-0,48ns	-0,21ns	-0,22ns	-0,50*	-0,22ns	-0,54*	-0,02ns	0,00ns	-0,46ns	-0,08ns	0,50*
MS	-	-	-	-	-0,04ns	0,31ns	-0,15ns	0,05ns	-0,23ns	-0,17ns	0,49ns	0,01ns	-0,00ns	-0,32ns	0,77**
P	-	-	-	-	-	-0,10ns	0,09ns	0,58*	-0,04ns	0,33ns	0,03ns	0,11ns	0,20ns	-0,10ns	-0,24ns
MO	-	-	-	-	-	-	-0,26ns	0,36ns	0,16ns	0,33ns	0,69**	0,26ns	0,60ns	-0,36ns	0,35ns
pH	-	-	-	-	-	-	-	0,15ns	0,61ns	0,60*	-0,75**	-0,60*	0,35ns	0,91**	-0,07ns
K	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06ns	0,51*	0,24ns	0,04ns	0,48ns	-0,10ns	-0,35ns
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,68**	-0,41ns	-0,11ns	0,76**	0,70**	-0,08ns
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,20ns	-0,12ns	0,88**	0,51*	-0,13ns
H+Al	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,54*	0,10ns	-0,87**	0,32ns
Al	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11ns	-0,60*	-0,06ns
CTC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29ns	-0,30ns
V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,10ns
Prod.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* e **: significativo a 5 e 1 %, respectivamente; (ns) não significativo.

Coloniz. – Colonização micorrízica, C-CO₂ – Atividade respiratória, CBM – C-Biomassa microbiana, MS – Matéria seca, P – Fósforo, MO – Matéria orgânica, K – Potássio, Ca – Cálcio, Mg – Magnésio, Al – Alumínio, CTC – Capacidade de troca catiônica, V – Saturação por bases e Prod. – Produção de grãos.

Apêndice B. Correlação entre os parâmetros estudados para a cultura do milho.

Variável	Coloniz.	C-CO ₂	CBM	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V	MS	Prod.
Esporos	0,57 ns	0,61 ns	0,67ns	0,43ns	0,44ns	0,32ns	-0,86**	-0,62ns	0,24ns	0,58ns	-0,46ns	0,37ns	0,00ns	0,71*	-0,47ns
Coloniz.	-	-0,15ns	0,10 ns	0,36ns	0,17ns	0,16ns	-0,15ns	0,06ns	0,16ns	0,04ns	-0,61ns	0,01ns	-0,08ns	0,84**	-0,09ns
C-CO ₂	-	-	0,71*	0,00ns	0,36ns	0,28ns	-0,72*	-0,56ns	0,18ns	0,54ns	-0,01ns	0,41ns	0,00ns	-0,05ns	-0,20ns
CBM	-	-	-	0,45ns	0,83**	0,80*	-0,78*	-0,33ns	0,73*	0,92**	0,15ns	-0,06ns	0,38ns	0,25ns	-0,42ns
P	-	-	-	-	0,39ns	0,41ns	-0,30ns	-0,21ns	0,43ns	0,45ns	0,11ns	-0,27ns	-0,14ns	0,42ns	0,05ns
MO	-	-	-	-	-	0,97**	-0,53ns	0,09ns	0,95**	0,91**	0,37ns	-0,46ns	0,38ns	0,31ns	0,09ns
pH	-	-	-	-	-	-	-0,39ns	0,22ns	0,99**	0,85**	0,42ns	-0,55ns	0,44ns	0,22ns	0,05ns
K	-	-	-	-	-	-	-	0,76*	-0,29ns	-0,76*	0,19ns	-0,39ns	-0,25ns	-0,46ns	0,18ns
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31ns	0,24ns	0,30ns	-0,76*	0,00ns	-0,19ns	0,30ns
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,80*	0,48ns	-0,64ns	0,37ns	0,20ns	0,06ns
H+Al	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25ns	-0,25ns	0,37ns	0,33ns	0,18ns
Al	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,51ns	0,09ns	-0,61ns	0,30ns
CTC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00ns	0,00ns	0,11ns
V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00ns	0,91**
MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,32ns
Prod.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* e **: significativo a 5 e 1 %, respectivamente; (ns) não significativo.

Coloniz. – Colonização micorrízica, C-CO₂ – Atividade respiratória, CBM – C-Biomassa microbiana, MS – Matéria seca, P – Fósforo, MO – Matéria orgânica, K – Potássio, Ca – Cálcio, Mg – Magnésio, Al – Alumínio, CTC – Capacidade de troca catiônica, V – Saturação por bases e Prod. – Produção de grãos.