

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS
DE MANEJO DE LONGA DURAÇÃO**

Marcelo de Andrade Barbosa
Licenciado em Ciências Agrárias

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS
DE MANEJO DE LONGA DURAÇÃO**

Marcelo de Andrade Barbosa

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho

Coorientador: Prof. Dr. Everlon Cid Rigobelo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

2015

B238a Barbosa, Marcelo de Andrade
Atributos microbiológicos do solo em sistemas de manejo de longa
duração / Marcelo de Andrade Barbosa. -- Jaboticabal, 2015
xvii, 56 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Edson Luiz Mendes Coutinho
Banca examinadora: Carolina Fernandes, Anice Garcia
Bibliografia

1. Microrganismos. 2. Plantio convencional. 3. Plantio direto. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 576.8:631.4

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

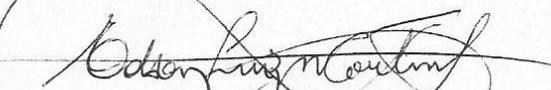
TÍTULO: ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO DE LONGA DURAÇÃO

AUTOR: MARCELO DE ANDRADE BARBOSA

ORIENTADOR: Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

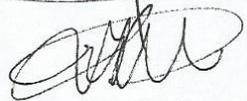
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. EVERLON CID RIGOBEL

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO) , pela Comissão Examinadora:



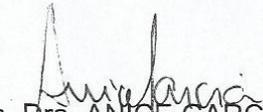
Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Profa. Dra. ANICE GARCIA

Faculdade de Ituverava "Dr. Francisco Maeda" / Ituverava/SP

Data da realização: 22 de julho de 2015.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MARCELO DE ANDRADE BARBOSA, São Paulo, 29 de agosto de 1989 - filho de Débora Ferreira de Andrade e Mauro Prudente Barbosa. Concluiu o ensino básico na Escola Arão Teodomiro de Sousa na cidade de Brejo dos Santos, PB e o segundo grau na Escola Agrotécnica do Cajueiro, no ano de 2008, na cidade de Catolé do Rocha, PB. Ingressou no curso superior de Licenciatura em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba- UEPB no ano de 2010, onde foi bolsista de iniciação científica do CNPq no ano de 2011/12 e 2012/13. Também atuou como monitor das disciplinas Agricultura Geral em 2011/12 e Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas em 2012/13. Concluiu o curso de Licenciatura em Ciências Agrárias em junho de 2013 sob a orientação do Prof. Dr. Evandro Franklin de Mesquita. Em agosto de 2013 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista- UNESP sob orientação do Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho e co-orientação do Prof. Dr. Everlon Cid Rigobelo, tendo sido já aprovado, em junho de 2015, para cursar doutorado.

“Minhas maiores reflexões vêm logo após momentos difíceis e a minha vontade de vencer se renova à medida que a complexidade aumenta. Ainda não sei se vou encontrar o ponto ótimo e/ou equilíbrio entre as formas de ser, mas a verdade é que tudo isso me fascina...”

Marcelo de Andrade Barbosa

EPIGRAFE

“Tua caminhada ainda não terminou...

A realidade te acolhe
dizendo que pela frente
o horizonte da vida necessita
de tuas palavras
e do teu silêncio.

Se amanhã sentires saudades,
lembra-te da fantasia e
sonha com tua próxima vitória.

Vitória que todas as armas do mundo
jamais conseguirão obter,
porque é uma vitória que surge da paz
e não do ressentimento.

É certo que irás encontrar situações
tempestuosas novamente,
mas haverá de ver sempre
o lado bom da chuva que cai
e não a faceta do raio que destrói.

Tu és jovem.

Atender a quem te chama é belo,
lutar por quem te rejeita
é quase chegar a perfeição.
A juventude precisa de sonhos
e se nutrir de lembranças,
assim como o leito dos rios
precisa da água que rola
e o coração necessita de afeto.

Não faças do amanhã
o sinônimo de nunca,
nem o ontem te seja o mesmo
que nunca mais.

Teus passos ficaram.

Olhes para trás...
mas vá em frente
pois há muitos que precisam
que chegues para poderem seguir-te.”

Charles Chaplin

DEDICATÓRIA

A Deus, pelo dom da vida, iluminação e proteção contra todos os ventos contrários, e por mesmo não tendo me concedido um berço de ouro, me dadivou saúde, caráter, e muita força de espírito para superar todas as adversidades.

À minha mãe, Débora Ferreira de Andrade, pelo amor, carinho, incentivo e todos os demais ensinamentos de fundamental importância para que eu me tornasse o homem que sou hoje. Por me ensinar que sábio é o homem que constrói uma base sólida, para que sua casa não desabe com as primeiras ventanias.

Aos meus irmãos Rodrigo de Andrade Barbosa e Mauricio de Andrade Barbosa pelo companheirismo em todos os momentos.

Ao meu avô Beijamim Ferreira de Andrade (in memoriam).

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por minha família.

À minha mãe, meu maior exemplo de vida, coragem e superação.

Aos meus dois irmãos, Rodrigo de Andrade Barbosa e Maurício de Andrade Barbosa, pela amizade e momentos compartilhados.

À minha namorada, Carla Resende Bastos, por todo o amor, carinho, encanto, amizade e companheirismo que tem demonstrado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho, por ter aceitado me orientar, e por acreditar no meu potencial para o desenvolvimento deste trabalho. Por todos os ensinamentos e contribuições para o meu crescimento pessoal e profissional.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Everlon Cid Rigobelo, pela parceria que nos possibilitou a realização das análises microbiológicas do solo e por toda a assistência prestada.

Ao técnico do laboratório de microbiologia do solo, Luiz Carlos de Assis, por compartilhar de tão bom grado toda sua experiência de mais de 30 anos de laboratório, contribuindo de forma imprescindível para a realização das análises, e por sua grande amizade.

À Prof^a Dra. Carolina Fernandes pela contribuição durante o exame geral de qualificação.

Ao Prof. Dr. José Carlos Barbosa pela atenção, auxílio na realização das análises estatísticas e sugestões durante o exame geral de qualificação.

À banca examinadora composta pelo Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho, pela Prof^a. Dra. Carolina Fernandes e Prof^a. Dra. Anice Garcia, por terem aceitado o convite, de forma a contribuir para excelência deste trabalho.

À toda a minha família de uma forma geral, pela consideração, carinho e respeito.

Aos meus grandes amigos Rener Luciano de Souza Ferraz, Fernando de Oliveira Franco e Geffson de Figueredo Dantas, pela amizade e agradável convivência durante o período em que dividimos apartamento.

À minha sogra, Carmen Lúcia Resende Bastos, ao meu sogro Manuel Teixeira Bastos Júnior, e ao meu cunhado Fernando Resende Bastos, por todo o carinho e consideração.

Ao grupo de estudos em manejo do solo- GEMAS.

A equipe Laboratory Soil of Microbiology- LSM, pela parceria e agradável convivência.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Câmpus de Jaboticabal- SP, pela oportunidade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- CAPES, pela concessão de bolsa de mestrado.

A todos os professores que contribuíram para minha formação pessoal e profissional, e a todas as pessoas que direta ou indiretamente colaboraram para que a realização deste trabalho fosse possível.

SUMÁRIO

RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
LISTA DE ABREVIACÕES	xiv
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE FIGURAS	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo.....	3
2.2 Sistemas de Manejo do Solo.....	6
3 MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1. Análises Microbiológicas.....	14
3.1.1 Atividade Respiratória Microbiana (ARM).....	14
3.1.2. Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (CBM).....	15
3.1.3 Quociente Metabólico do Solo ($q\text{ CO}_2$).....	16
3.1.4 Carbono Orgânico Total do Solo.....	17
3.1.5 Nitrogênio Total (NT).....	17
3.1.6 Nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N_{BMS}).....	17
3.1.7 Atividade Enzimática da Urease.....	18
3.1.8 Atividade Enzimática da Desidrogenase.....	18
3.1.9 Atividade da Enzimática da Amilase.....	19
4 RESULTADOS	21
4.1 Efeitos dos Sistemas de Manejo do Solo.....	21
4.1.1 Atividade Respiratória Microbiana.....	25
4.1.2 Carbono Orgânico Total.....	25
4.1.3 Nitrogênio da Biomassa Microbiana.....	25
4.1.4 Atividade Enzimática da Urease.....	25
4.2 Efeitos das Doses Dentro dos Sistemas de Manejo do Solo.....	26
4.2.1 Atividade Respiratória Microbiana.....	26
4.2.2 Carbono da Biomassa Microbiana.....	26

4.2.3 Quociente Metabólico	27
4.2.4 Carbono Orgânico Total	28
4.2.5 Nitrogênio Total.....	29
4.2.6 Nitrogênio da Biomassa Microbiana.....	29
4.2.7 Atividade Enzimática da Urease	30
4.2.8 Atividade Enzimática da Desidrogenase	31
4.2.9 Atividade Enzimática da Amilase	32
5 DISCUSSÃO	33
5.1 Efeitos dos Sistemas de Manejo do Solo	33
5.1.1 Atividade Respiratória Microbiana	33
5.1.2 Carbono Orgânico Total	33
5.1.3 Nitrogênio da Biomassa Microbiana.....	34
5.1.4 Atividade Enzimática da Urease	35
5.2. Efeito das Doses Dentro dos Sistemas de Manejo do Solo	36
5.2.1 Atividade Respiratória Microbiana	36
5.2.2 <i>Carbono da Biomassa Microbiana</i>	37
5.2.3 Quociente Metabólico	38
5.2.4 Carbono Orgânico Total	38
5.2.5 Nitrogênio Total.....	39
5.2.6 Nitrogênio da Biomassa Microbiana.....	40
5.2.7 Atividade Enzimática da Urease	40
5.2.8 Atividade Enzimática da Desidrogenase	41
5.2.9 Atividade Enzimática da Amilase.....	42
6 CONCLUSÃO	44
7 REFERÊNCIAS	45

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO DE LONGA DURAÇÃO

RESUMO - Sistemas de manejo do solo, assim como a aplicação de adubos podem promover alterações sobre atividade de microrganismos no solo. Nesse sentido, quatro experimentos foram executados com o objetivo de avaliar a atividade respiratória microbiana (ARM), o carbono da biomassa microbiana (CBM), o quociente metabólico ($q\text{ CO}_2$), o carbono orgânico total (COT), o nitrogênio total (NT), o nitrogênio da biomassa microbiana (N_{BMS}), e a atividade enzimática da urease (AEU), desidrogenase (AED) e amilase (AEA) em solos provenientes de áreas com históricos de manejo e adubação (esterco bovino e ureia). O primeiro experimento foi constituído por plantio de milho como cultura de verão em sistema convencional com adubação com ureia (PC M), nas doses: 0, 90 e 180 kg ha⁻¹ de N; o segundo, por plantio de milho no verão em sistema convencional adubado com esterco bovino (PC E), nas doses: 0, 5 e 60 Mg ha⁻¹; e o terceiro e quarto, por plantio direto com sucessão milho/ milho (PD M/M) e leguminosa/ milho (PD L/M), respectivamente, ambos adubados com ureia, nas mesmas doses do primeiro experimento. O sistema de plantio direto com sucessão leguminosa/ milho é o que melhor propicia condições favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos no solo. O plantio convencional adubado com esterco bovino apresenta maior atividade microbiana em relação ao plantio convencional adubado com ureia. As doses de N na forma de ureia proporcionam decréscimo da atividade de microrganismos em sistema de plantio direto com sucessão leguminosa/ milho e acréscimo em plantio direto com sucessão milho/ milho. A atividade de microrganismos no solo aumenta com o incremento das doses de esterco bovino.

Palavras-chave: Atividade enzimática, microrganismos, plantio convencional, plantio direto, qualidade do solo, sucessão de culturas

MICROBIOLOGICAL ATTRIBUTES OF SOIL IN LONG-TERM MANAGEMENT SYSTEMS

ABSTRACT- Soil management systems, as well as the application of fertilizers may promote changes on microorganism activity in the soil. In this regard, four experiments were performed in order to evaluate the microbial respiration (MR), the microbial biomass carbon (MBC), metabolic quotient ($q\text{ CO}_2$), total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), microbial biomass nitrogen (NBM), and the enzymatic activity of urease (UEA), dehydrogenase (DEA) and amylase (AEA) in soils from areas with a history of management and fertilization (cattle manure and urea). The first experiment consisted of planting maize as a summer crop in conventional tillage system with urea fertilization (CT U), at the rates: 0.90 and 180 kg ha⁻¹ N; the second, of planting maize in summer in conventional tillage fertilized with cattle manure (CT M), at the rates: 0.5 and 60 Mg ha⁻¹; and the third and fourth consisted of no-tillage with maize/maize (NT M/M) and legumes/maize (NT L/M) cover crops, respectively, both fertilized with urea, at the same rates of the first experiment. The no-tillage system with legumes/maize cover crops is the one that best provides favorable conditions for microorganism development in the soil. The conventional tillage fertilized with cattle manure has a higher microbial activity compared to the conventional tillage fertilized with urea. The N rates in the form of urea provide decreased microorganism activity in no-tillage system with legumes/maize cover crops and increase in no-tillage with maize/maize cover crops. The microorganism activity in the soil increases with increasing rates of cattle manure.

Keywords: Enzyme activity, microorganisms, conventional tillage, no-tillage, soil quality, cover crops

LISTA DE ABREVIações

- ARM** – Atividade Respiratória Microbiana
- CBM** – Carbono da Biomassa Microbiana
- q CO₂** – Quociente Metabólico Microbiano
- COT** – Carbono Orgânico Total
- NT** – Nitrogênio Total
- N_{BMS}** – Nitrogênio da Biomassa Microbiana do solo
- AEU** – Atividade Enzimática da Urease
- AED** – Atividade Enzimática da Desidrogenase
- AEA** – Atividade Enzimática da Amilase
- PC M** – Plantio Convencional Adubado com Ureia
- PC E** – Plantio Convencional Adubado com Esterco Bovino
- PD M/M** – Plantio Direto com Sucessão Milho/ Milho
- PD L/M** – Plantio Direto com Sucessão Leguminosa/ Milho
- Kc** – Fator de Correção
- CRA** – Capacidade de Retenção de Água
- C_{Ir}** – Carbono Irradiado
- N_{Ir}** – Carbono Não Irradiado
- F** – Amostras Fumigadas
- NF** – Amostras Não Fumigadas
- TFSA** – Terra Fina Seca ao Ar
- TCC** – Tripheniltetrazolio
- TPF** – Trifenilformazan
- SS** – Solo Seco

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Atributos químicos do solo referente aos quatro experimentos, antes das suas respectivas instalações. 12
- Tabela 2.** Composição química do esterco bovino. 13
- Tabela 3.** Análise conjunta para comparar a atividade respiratória microbiana (ARM), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico ($q\text{ CO}_2$), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), nitrogênio da biomassa microbiana (N_{BMS}), atividade enzimática da urease (AEU), desidrogenase (AED) e amilase (AEA), nos quatro experimentos. 22
- Tabela 4.** Análise conjunta para comparar o efeito das doses de nitrogênio sobre atividade respiratória microbiana (ARM), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico ($q\text{ CO}_2$), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), nitrogênio da biomassa microbiana (N_{BMS}), atividade enzimática da urease (AEU), desidrogenase (AED) e amilase (AEA), nos três experimentos adubados com ureia. 23
- Tabela 5.** Análise individual para verificar a atividade respiratória microbiana (ARM), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico ($q\text{ CO}_2$), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), nitrogênio da biomassa microbiana (N_{BMS}), atividade enzimática da urease (AEU), desidrogenase (AED) e amilase (AEA), no experimento adubado com esterco bovino. 24

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Atividade respiratória microbiana em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).26
- Figura 2.** Carbono da biomassa microbiana em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).27
- Figura 3.** Quociente metabólico em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).28
- Figura 4.** Carbono orgânico total em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).29
- Figura 5.** Nitrogênio total em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).29
- Figura 6.** Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).30

- Figura 7.** Atividade enzimática da urease em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).31
- Figura 8.** Atividade enzimática da desidrogenase em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).31
- Figura 9.** Atividade enzimática da amilase em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).32

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais produtores de alimentos do mundo. Aumentar a produção de alimentos e energia preservando o ecossistema e a qualidade do solo constitui em grande desafio. Dentre os sistemas de manejo do solo utilizados para a produção das culturas, o sistema de plantio convencional (PC), no qual a técnica consiste no revolvimento do solo através de aração e gradagem, ainda é o mais utilizado em todo o mundo (AZIZ; MAHMOOD; ISLAM, 2013). Já o plantio direto (PD), trata-se de um sistema de produção conservacionista, que se contrapõe ao sistema tradicional, fundamentando-se na ausência do preparo do solo, na cobertura permanente da área e na rotação ou sucessão de culturas (HECKLER; SALTON, 2002). Estudos (VARGAS; SCHOLLES, 2000; ELEFThERIADIS; TURRIÓN, 2014; LIU et al., 2014) denotam que o sistema de plantio convencional pode ocasionar erosão, esgotamento da matéria orgânica, nutrientes e decréscimo da atividade de microrganismos do solo em relação ao sistema de plantio direto, o que resulta em redução da fertilidade do solo, pois estes microrganismos desempenham importantes funções inerentes aos processos de ciclagem de nutrientes (RICH; MYROLD, 2004; SHEN et al., 2010).

Em conjunto a problemática supracitada, a adubação, que é uma técnica amplamente utilizada com o objetivo de fornecer nutrientes às plantas, tem exercido efeito deletério sobre as comunidades microbianas do solo (ENWALL et al., 2007; LIU et al., 2010). Outros estudos indicam que o decréscimo ou aumento da atividade de microrganismos no solo podem variar em função da fonte de fertilizante mineral, e ao tempo de exposição da área a esta técnica (MARTIKAINEN, 1984; NOHRSTEDT et al., 1989; GAO et al., 2014; ZHAO et al., 2015). Em contrapartida, a adubação orgânica com esterco pode contribuir com o aumento da diversidade e quantidade de microrganismos no solo (PEACOCK et al., 2001; CEDERLUND et al., 2014). Embora alguns avanços tenham sido obtidos nas últimas décadas, ainda faz-se necessário o desenvolvimento de pesquisas, que possam fornecer maior suporte, a fim de obter um direcionamento a respeito de estratégias de manejo do solo, que

possibilitem preservar a qualidade do solo, comportando as exigências das culturas por nutrientes.

Desta forma, foram executados quatro experimentos com o objetivo de avaliar o comportamento dos microrganismos, através da quantificação da atividade respiratória microbiana (ARM), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico ($q\text{ CO}_2$), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), nitrogênio da biomassa microbiana (N_{BMS}) e atividade enzimática da urease (AEU), desidrogenase (AED) e amilase (AEA) em sistemas de manejo do solo de longa duração.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo

A disposição do termo qualidade do solo tem sido reconhecida como de caráter imprescindível para a sustentabilidade da agricultura, em razão da sua importância em ecossistemas naturais e agroecossistemas, uma vez que a qualidade destes recursos está diretamente relacionada ao seu potencial produtivo (WANG; GONG, 1998).

A qualidade do solo tem sido conceituada pela Sociedade Americana de Ciência do Solo como a capacidade de um dado solo funcionar, dentro de um sistema natural ou manejado de forma a manter a produtividade vegetal e animal, e manter ou melhorar a qualidade da água e do ar (KARLEN et al., 1997).

Para permitir uma estimativa da qualidade do solo são utilizados indicadores de ordem física, química e biológica, que veem mostrando grande potencial de diferenciação da qualidade do solo em áreas sob influência antrópica (GLOVER; REGANOLD; ANDREWS, 2000; BABUJIA et al., 2010).

Entre os indicadores de qualidade do solo, os microbiológicos merecem especial atenção, pois este componente é o centro de inúmeros processos e funções, como a decomposição de resíduos, ciclagem de nutrientes, sínteses de substâncias húmicas, agregação e degradação de compostos xenobióticos (DICK; BREACKWELL; TURCO, 1996; LUPWAYI et al., 2004). Segundo Friedel, Munch e Fischer (1996) a disponibilidade de nutrientes no solo e a produtividade dos agroecossistemas são dependentes da atividade de microrganismos no solo.

Desta forma, os indicadores biológicos possuem grande utilidade na avaliação da qualidade do solo, devido a sua capacidade de apresentar rápidas respostas às mudanças ambientais (MOESKOPS et al., 2012). Destarte, Lima et al. (2013) verificaram que os indicadores biológicos foram os mais sensíveis na indicação de diferenças na qualidade do solo ao estudar sistemas de manejo.

Dentre os indicadores biológicos, a atividade respiratória microbiana (ARM) é definida como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o CO₂ é produzido. As bactérias e fungos são os principais responsáveis pelo fluxo de CO₂ via degradação da matéria orgânica (CATTELAN; VIDOR, 1990). Esta análise é um

importante complemento no auxílio da quantificação da biomassa microbiana, pois nos permite ver o quanto está ativa a comunidade microbiana do solo para uma determinada biomassa. Dados na literatura denotam que esta análise vem sendo utilizada a muito tempo, para avaliar a atividade de microrganismos no solo, devido a mesma apresentar resultados satisfatórios e possuir baixo custo para determinação (NEOGI et al., 2014). Porém, é preciso cautela na interpretação dos resultados, de modo que altas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio ecológico, como um alto nível de produtividade dos sistemas (ISLAM; WEIL, 2000). Para facilitar esta interpretação, Anderson e Domsch (1993) propuseram o quociente metabólico ($q\text{ CO}_2$), definido pela razão entre a atividade respiratória microbiana, por unidade de carbono da biomassa microbiana, e por unidade de tempo, como atributo que permite a identificação de solos que possuem biomassa mais eficiente na utilização de carbono e energia, os quais refletem ambientes com menor grau de distúrbio (CHAER; TÓTOLA, 2007). Anderson e Domsch (1993) ainda afirmam que valores mais elevados de $q\text{ CO}_2$, geralmente, estão associados a ecossistemas jovens, submetidos a alguma situação de estresse, enquanto que menores valores são obtidos em ecossistemas maduros e estáveis.

O carbono da biomassa microbiana (CBM) é considerado a parte viva da matéria orgânica do solo, representando de 2 a 5% desta fração no solo (JENKINSON; LADD, 1981), sendo parcialmente composto por diversas espécies de microrganismos, como fungos, bactérias, actinomicetos, protozoários, nematoides e algas que atuam como agentes de transformação da matéria orgânica do solo, na ciclagem de nutrientes, fixação biológica de N_2 e no fluxo de energia (HUNGRIA et al., 2009), o que torna o conhecimento sobre os níveis de CBM no solo, importantes para a conservação da matéria orgânica do solo servindo como sensível indicador de alterações provocadas no ambiente. A utilização deste indicador para avaliar as vantagens em termo de fertilidade do solo, em experimentos de longa duração no sistema de plantio direto em relação ao convencional, assim como a sucessão de culturas, e a atividade de microrganismos em diferentes profundidades do solo, tem sido relatado em alguns trabalhos (HUNGRIA et al., 2009; BABUJIA et al., 2010).

O carbono orgânico total (COT), embora seja um indicador químico, constitui fundamental importância por corresponder a aproximadamente 58% da matéria

orgânica do solo, a qual possui diversas funções, como a geração de cargas elétricas negativas, disponibilização de nutrientes, agregação do solo (NELSON; SOMMERS, 1996), e aumento da comunidade de fungos, bactérias e actinomicetos (WILLEKENS et al., 2014), o que caracteriza a determinação do carbono orgânico total como um importante indicador de qualidade do solo. Willekens et al. (2014) verificaram grande sensibilidade do carbono orgânico total em identificar diferenças entre sistemas de manejo do solo e a aplicação de doses de composto orgânico.

Assim como o carbono orgânico total, o nitrogênio total (NT) também é caracterizado como um indicador químico. Dentre os nutrientes exigidos pelas plantas, o nitrogênio é o que mais limita a produção das culturas, sendo o nitrogênio total a combinação de amônia e nitrogênio orgânico do solo (DORAN; SMITH, 1987). Alterações na concentração de NT como consequência do manejo do solo, têm sido relatadas por vários estudos (GRANT, 1997; YANG; GAO; REN, 2015), o que o inclui como um indicador de qualidade do solo.

O nitrogênio é o segundo elemento em maior abundância na constituição microbiana, sendo inferior apenas ao carbono (DE-POLLI; GUERRA, 1999). A biomassa microbiana pode imobilizar quantidades de nutrientes, que no caso do nitrogênio, o valor pode ultrapassar os $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (ANDERSON; DOMSCH, 1980). A imobilização ou liberação desses nutrientes varia em função da dinâmica dos microrganismos, da quantidade de resíduos vegetais, e do retorno e da eficiência de utilização do carbono pela microbiota (BAUDOIN; BENIZRI; GUCKERT, 2003). Logo a determinação do nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N_{BMS}) constitui grande importância para a quantificação da dinâmica do nitrogênio em agroecossistemas, pois controla a disponibilidade e as perdas de nitrogênio do solo (SCHLOTTER; DILLY; MUNCH, 2003).

Também se torna necessário avaliar parâmetros que forneçam indicações sobre os níveis de atividade das comunidades microbianas do solo, tais como as atividades enzimáticas, para verificar o estado metabólico das populações de microrganismos presentes no solo (LIU et al., 2014). As enzimas desempenham um papel importante no ciclo dos nutrientes no solo e apresentam grande sensibilidade as práticas agrícolas, podendo ser utilizadas como um índice de atividade microbiana e fertilidade do solo (SAID; HAMIDO; KPOMBLEKOU, 2009).

A urease, por exemplo, é uma enzima encontrada em bactérias, algas, fungos e plantas superiores, sendo responsável por catalisar a hidrólise de exoenzimas da ureia para formar dióxido de carbono e amônio, com uma velocidade de reação de aproximadamente 10^{14} vezes superior a reações não catalisadas por esta enzima (HAUSINGER et al., 1995; SAMBORSKA; STEPNIEWSKA; STEPNIEWSKI, 2004). O seu principal papel no ambiente, é a disponibilização de nitrogênio para as plantas, e também atua no transporte de nitrogênio via sistêmica (DUCROS, 1997).

A desidrogenase apenas é encontrada em células vivas, e estão envolvidas no processo de transporte de elétrons que é acoplado à síntese de ATP, e que, por isso, podem ser empregadas como medida da atividade biológica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Devido a grande sensibilidade desta enzima em responder a alterações ocorridas no solo, diversos estudos tem utilizado a atividade da desidrogenase para verificar o efeito da adoção de diferentes práticas agrícolas sobre a biota do solo (CHU, et al., 2007; MOLERO et al., 2009).

As amilases são enzimas abundantes na natureza, encontradas em animais, plantas e microrganismos. Catalisam a hidrólise inicial de polissacarídeos, como amido e glicogênio, produzindo oligossacarídeos menores que posteriormente serão transformados em carboidratos simples assimiláveis pelos organismos (SAMIE et al., 2012; VOET; VOET; PRATT, 2008). Mesmo sendo uma enzima de reconhecida importância no processo de decomposição da matéria orgânica e disponibilização de nutrientes, são raros na literatura os estudos que possibilitem melhor compreender os fatores que influenciam a sua atividade no solo (JOSHI; SHARMA; MISHRA, 1993; MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 1999).

2. 2 Sistemas de Manejo do Solo

Sistemas de manejo do solo são caracterizados pela adoção de um conjunto de técnicas, cujo objetivo é proporcionar condições favoráveis à semeadura, ao desenvolvimento, e à produção das culturas, de forma sustentável. Dentre os sistemas de manejo utilizado, o plantio convencional (PC), no qual a técnica consiste no revolvimento do solo através de aração e gradagem, ainda é o mais utilizado em

todo o mundo (AZIZ; MAHMOOD; ISLAM, 2013). Já o plantio direto (PD), trata-se de um sistema de produção conservacionista, que se contrapõe ao sistema tradicional, fundamentando-se na ausência do preparo do solo e na cobertura permanente da área através de rotações ou sucessões de culturas (HECKLER; SALTON, 2002).

As diferenças nas técnicas que caracterizam estes sistemas de manejo resultam em alterações de ordem química, física e biológica que podem comprometer a qualidade do solo e a consequente produção das culturas (CARBONETTO et al., 2014). Sistemas de manejo baseados em cultivo intensivo, sem a proteção do solo e retorno de resíduos das culturas, podem ocasionar erosão, esgotamento da matéria orgânica, nutrientes e decréscimo da atividade de microrganismos no solo (DAS et al., 2014; LIU et al., 2014).

Em experimento de seis anos com o objetivo de avaliar o efeito dos sistemas de plantio direto e convencional, e também da rotação de culturas sobre a qualidade do solo, tem-se verificado que a rotação de culturas e o plantio direto influenciam de forma significativa a biomassa microbiana do solo, atividade respiratória microbiana, carbono ativo, carbono total, nitrogênio total, estabilidade de agregados, porosidade total e matéria orgânica particulada (AZIZ; MAHMOOD; ISLAM, 2013). Os autores verificaram que o plantio direto aumentou significativamente todos os atributos estudados, enquanto que decréscimo foi verificado quando o solo foi manejado de forma convencional, com aração e gradagem. Em relação a rotação e combinações de culturas, os mesmos autores observaram que o milho-soja-trigo em plantio direto proporcionaram resultados superiores ao monocultivo de milho e a rotação milho-soja.

Ao avaliar o carbono da biomassa microbiana, nitrogênio da biomassa microbiana e a atividade respiratória, em várias profundidades em Latossolo brasileiro, após duas décadas de plantio direto e convencional, Babujia et al. (2010) verificaram aumento de todos estes atributos microbiológicos no valor de 35, 23 e 67%, respectivamente, em plantio direto em relação ao convencional.

A atividade de microrganismos no solo possui relação linear crescente com o aumento de carbono orgânico do solo (LIU et al., 2010). O preparo do solo envolve a perturbação física das camadas superiores, como o rompimento de agregados, que influenciam na estabilidade do C no solo (PAUSTIAN, et al., 2000). Já o plantio

direto proporciona aumento do carbono orgânico total, aumentando a microagregação e a estabilidade de agregados (ELEFTHERIADIS; TURRIÓN, 2014). Ao avaliar as propriedades físicas de um Cambissolo húmico sob sistemas de preparo do solo em experimento de 12 anos, Andrade et al. (2010) verificaram aumento da microporosidade, estabilidade de agregados, retenção de água e carbono orgânico em sistema de plantio direto em comparação ao convencional.

Associado aos sistemas de manejo do solo, a adubação através de insumos orgânicos e inorgânicos, independentemente do sistema de manejo do solo, é uma técnica amplamente utilizada com o objetivo de fornecer nutrientes às plantas. No entanto, pouco se sabe sobre os potenciais efeitos dessas técnicas sobre as comunidades microbianas do solo. Estes microrganismos possuem importância fundamental no processo de degradação da matéria orgânica, ciclo do nitrogênio, carbono e na fertilidade do solo (SHEN et al., 2010).

Em área submetida a adubação com $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de nitrogênio, tendo como fonte o nitrato de cálcio, e adubação orgânica com 8 Mg ha^{-1} de turfa, ou palha em anos pares durante 46 anos, na Suécia, foi verificado que as fontes de N podem dar origem a diferentes nichos ecológicos, onde a adubação através de fontes inorgânicas pode ser favorável a multiplicação de bactérias de crescimento rápido (copiotrophic), enquanto que a adubação orgânica favorece a proliferação de bactérias de crescimento lento (oligotróficas) (CEDERLUND et al., 2014). Organismos heterotróficos que estão envolvidos nos processos de mineralização e desnitrificação tem mostrado maior sensibilidade, reduzindo sua biomassa em função das adições de N ao solo, enquanto que microrganismos autotróficos, como os methanotrophs oxidantes de NH_4^+ podem não apresentar a mesma sensibilidade (WALLENSTEIN et al., 2006).

Em experimento de curta duração (dois anos), a adubação nitrogenada parece estimular a atividade de algumas comunidades microbianas do solo, como observado por Gao et al. (2014), ao verificarem incremento da atividade respiratória microbiana em função da aplicação da dose de 50 kg ha^{-1} de N em relação ao controle, seguido de decréscimo quando foi aplicado a dose de 100 kg ha^{-1} de N. Estes autores concluem que este achado contraria o dogma comum o qual assume uma relação linear negativa entre a atividade respiratória microbiana e a adubação

nitrogenada. Wallenstein et al. (2006), ao avaliarem o efeito da adubação nitrogenada com as fontes nitrato de amônio, sulfato de amônio e cloreto de amônio em três fragmentos florestais com histórico de 14 anos, nos Estados Unidos, verificaram redução do carbono da biomassa microbiana, atividade respiratória microbiana e atividade de fungos, e atribuíram este resultado a acidificação do solo, nitrificação de NH_4^+ , e lixiviação de NO_3^- , concluindo que a alteração no pH pode ter influenciado a disponibilidade de nutrientes para as plantas, reduzindo a produção de raízes e exsudatos.

Reduções da atividade respiratória microbiana e carbono da biomassa microbiana também foram observados em outros estudos, quando o N é adicionado na forma de sais inorgânicos como nitrato de amônio e sulfato de amônio (SMOLANDER et al., 1994; ARNEBRANT et al., 1996). Parte desse efeito é atribuído a redução do pH e ao conseqüente aumento da acidez do solo em função da adubação nitrogenada ao longo do tempo, que está negativamente correlacionada com a atividade respiratória microbiana, indicando queda da eficiência de microrganismos heterotróficos para converter o carbono orgânico em biomassa microbiana (ENWALL et al., 2007).

Quando a fonte de nitrogênio é a ureia, em experimento de curta duração (dois anos), Zhao et al. (2015) observaram incremento do carbono da biomassa microbiana, da biomassa bacteriana, da biomassa de fungos e protozoários. Enquanto que em experimentos de longa duração (20 anos), tem se verificado decréscimo (HEIZE et al., 2010; RIFAI; MARKEWITZ; BORDERS, 2010).

Em contraste ao efeito deletério proveniente da adubação com insumos inorgânicos sobre os atributos microbiológicos do solo. A adubação orgânica com esterco bovino é uma técnica milenar, que perdeu prestígio com a introdução da adubação mineral, em meados do século XIX, e retomou a importância nas últimas décadas, a partir do melhor entendimento de seus benefícios ao solo (SAMPAIO; OLIVEIRA; NASCIMENTO, 2007). Pois a adubação com esterco bovino pode disponibilizar carbono prontamente metabolizável, aumentar a biomassa de raízes, proporcionando maior produção de exsudatos, e contribuir de forma significativa para o ganho em biomassa microbiana (LIU et al., 2010), uma vez que acréscimos nos teores de carbono orgânico total constitui em condicionador ao crescimento da

biomassa microbiana (YU et al., 2013). Além disso, estudos desenvolvidos por Bhattacharyya et al. (2008), denotam que o esterco bovino estimula a fixação biológica de N_2 , e também pode proporcionar aumento dos teores de nitrogênio total (ZHENGCHAO et al., 2013).

Além da importância da aplicação de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, devido ao seu efeito sobre a atividade de microrganismos no solo. A atividade e estrutura destas comunidades microbianas, assim como a razão entre a biomassa fúngica e bacteriana, e também os padrões de atividade enzimática do solo, são fortemente influenciadas pelas espécies de plantas cultivadas (BREULMANN et al., 2012; YU et al., 2013). Por exemplo, o cultivo de leguminosas foi responsável por aumentar a biomassa e a atividade microbiana do solo em pastagem semi-natural na Alemanha (BREULMANN et al., 2012) e em casa de vegetação (WARDLE et al., 2003), bem como a diversidade de minhocas (GASTINE; LORENZEN; LEADLEY, 2003). Além disso, o cultivo de leguminosas pode aumentar a complexidade das cadeias alimentares do solo, tal como indicado pela maior interação entre as ligações tróficas e multi-tróficas (ZHAO et al., 2014). Ao estudar o efeito da monocultura de capim e leguminosas forrageiras, assim como a sucessão entre as duas espécies, sobre a estrutura da comunidade microbiana do solo, Zhao et al. (2015) verificaram maior biomassa microbiana total, de bactérias, protozoários e algas em monocultura de leguminosa, já o maior valor de biomassa fúngica foi obtido com rotação leguminosa/ gramínea, na estação chuvosa.

Os diferentes resultados inerente a composição e atividade de microrganismos no solo, em função da aplicação de doses de fertilizantes nitrogenados, monocultura, sucessão de culturas (GAO et al., 2014; ZHAO et al., 2015), temperatura (GASTINE; LORENZEN; LEADLEY, 2003), estações do ano (YU et al., 2013), tipo de fertilizante (ENWALL et al., 2007), tempo de aplicação (anos) (LIU et al., 2010; RIFAI; MARKEWITZ; BORDERS, 2010) e tipo de solo (SILVA et al., 2014), evidenciam o quanto ainda está indefinido o entendimento de como e o quanto as práticas agrícolas influenciam as comunidades microbianas do solo. Fazendo-se necessário o desenvolvimento de estudos, que possam fornecer maior suporte, a fim de obter um direcionamento a respeito das melhores estratégias de

manejo do solo, para preservar a qualidade do ecossistema e manter, e ou, aumentar a produtividade das culturas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de solo foram coletadas em outubro de 2013 na profundidade de 0-0,10 m, em quatro áreas de experimentos previamente realizados na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP – Câmpus de Jaboticabal, localizada a 21°15'22" S e 48°15'58" O, a uma altitude de 613 m. O clima do município, segundo a classificação de Köppen é Aw (clima megatérmico). Os solos das áreas foram classificados, segundo critérios da Embrapa (2006), como Latossolo Vermelho eutroférico argiloso, cujas características químicas, analisadas conforme Raij et al. (2001), antes da implantação de cada experimento, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos do solo referente aos quatro experimentos, antes das suas respectivas instalações.

Experi- mentos	Profund.	pH CaCl ₂	MO	P (resina)	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	V
	M		g dm ⁻³		----- mmol _c dm ⁻³ -----					%
(PC M)	0-0,20	5,2	12	22	2,4	28	18	31	79,4	71
(PC E)	0-0,20	5,2	12	22	2,4	28	18	31	79,4	71
(PD M/M)	0-0,10	5,9	29	81	5,0	55	22	20	102,0	80
	0,10-0,20	5,8	28	77	4,5	47	20	23	94,5	76
(PD L/M)	0-0,10	5,9	27	78	5,1	58	23	22	108,1	80
	0,10-0,20	5,8	26	75	4,3	47	21	24	96,3	75

Milho em sistema plantio convencional com adubação com ureia (PC M), e com adubação com esterco bovino (PC E); sucessão milho/ milho em sistema plantio direto (PD M/M) e sucessão leguminosa/ milho (PD L/M), com adubação com ureia.

No primeiro experimento (PC M), as amostras de solo foram coletadas em área em que desde a década de 1960 o sistema de plantio é convencional (uma aração e duas gradagens). Os tratamentos foram compostos por três doses de N: 0, 90 e 180 kg ha⁻¹, com quatro repetições, tendo como fonte a ureia, instalado em blocos casualizados, estabelecidos em 2007. Todos os tratamentos receberam

adubação com fósforo e potássio. Nos últimos cinco anos, foi utilizado o milho como cultura de verão, e durante o inverno, a área permaneceu em pousio.

O segundo experimento (PC E), apresenta o mesmo histórico anterior, sendo os tratamentos estabelecidos em outubro de 2011 e replicado em outubro de 2012, instalado em blocos casualizados, com três doses de esterco bovino (base seca): 0, 5 e 60 Mg ha⁻¹, com quatro repetições, e posteriormente incorporado com grade até a profundidade de aproximadamente 0,10 m, cuja composição química do esterco bovino, avaliada segundo método proposto por Alcarde (2009), pode ser visualizada na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química do esterco bovino.

DETERMINAÇÃO	Umidade natural	Base Seca	
		60-65° C	110° C
pH (CaCl ₂ 0,01Mol L ⁻¹)	7,0	-	-
Densidade (g cm ⁻³)	0,61	-	-
Umidade perdida a 60-65°C (%)	16,04	-	-
Umidade perdida entre 65 e 110°C (%)	1,15		
Umidade Total, %	17,19		
Inertes	0,00	0,00	0,00
Matéria orgânica total, %	26,14	31,13	31,57
Carbono total (orgânico e mineral), %	14,52	17,29	17,53
Carbono orgânico, %	13,82	16,46	16,69
Resíduo mineral total, %	56,67	67,50	68,43
Resíduo mineral insolúvel, %	46,37	55,23	56,00
Resíduo mineral solúvel, %	10,30	12,27	12,44
Nitrogênio total, %	1,07	1,27	1,29
Fósforo total (P ₂ O ₅), %	0,78	0,93	0,94
Potássio total (K ₂ O), %	0,67	0,80	0,81
Cálcio total, %	1,34	1,60	1,62
Magnésio total, %	0,33	0,39	0,40
Enxofre total, %	0,23	0,27	0,28
Relação C/N (C total e N total)	14/1	14/1	14/1
Relação C/N (C orgânico e N total)	13/1	13/1	13/1
Boro total, mg kg ⁻¹	5	6	6
Cobre total, mg kg ⁻¹	44	52	53
Ferro total, mg kg ⁻¹	16.545	19.706	19.979
Manganês total, mg kg ⁻¹	323	385	390
Zinco total, mg kg ⁻¹	96	114	116
Sódio total, mg kg ⁻¹	586	698	708

O terceiro e quarto experimentos apresentam histórico de plantio direto desde 1990, utilizando o milho como cultura de verão, semeado normalmente na

segunda quinzena de novembro de cada ano. Até 1998 as plantas de cobertura foram as de vegetação espontânea. A partir desse ano, foi empregada como cultura de entressafra o milho, na área do terceiro experimento, e no quarto experimento, soja até 2009, e após, *Crotalaria juncea*. Desta forma, o terceiro experimento foi constituído por sucessão milho/milho (PD M/M) e o quarto por leguminosa/milho (PD L/M), ambos com adubação com ureia nas doses 0, 90 e 180 kg ha⁻¹, instalados em delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. Todos os tratamentos receberam adubação com fósforo e potássio.

Os dados obtidos foram submetidos à análises conjuntas, sendo o fator qualitativo comparado através do teste Tukey a (5%) e o quantitativo submetido a regressão polinomial, utilizando-se o Software AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2009).

3.1. Análises Microbiológicas

3.1.1 Atividade Respiratória Microbiana (ARM)

A atividade respiratória microbiana foi determinada em 100 g de solo seco, inserido em recipiente de vidro com capacidade para 2,5 L, conforme metodologia proposta por Rezende, Assis e Nahas (2004), com adaptações, com a umidade do solo ajustada para 100% da capacidade de retenção de água (CRA). Cada recipiente recebeu em seu interior 2 béqueres de 50 mL, um contendo 20 mL de H₂O destilada e outro 20 mL de solução de hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹. Os recipientes foram vedados com filme plástico PVC, tampa, e incubados em sala com ausência de luz a temperatura ambiente durante 7 dias. Após o período de incubação, foi retirado o béquer com hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹, adicionado no mesmo 2 mL de solução de cloreto de bário 30%, três gotas de solução de fenolftaleína 1%, e titulado com solução de ácido clorídrico 0,5 mol⁻¹, até a viragem de cor rosa para branco leitoso. Para cada leva de amostras, foi feito dois controles com ausência de solo.

3.1.2. Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (CBM)

A determinação do carbono da biomassa microbiana foi realizada adaptando-se o método irradiação-extração proposto por Islam e Weil (1998) e Ferreira, Camargo e Vidor (1999), que consiste na utilização da energia eletromagnética (micro-ondas) para promover o rompimento celular, liberando os compostos intracelulares para posterior extração e quantificação do carbono. Foram pesados 10 g de solo seco em erlenmeyers de 250 ml, sempre duas amostras, teste e controle correspondentes a cada parcela, uma para ser irradiada e outra não irradiada. A capacidade de retenção de água (CRA) foi ajustada para 100%, uma vez que ensaios prévios com o solo a 70% da CRA não foi suficiente para promover o rompimento celular, como sugere o método. Metade das amostras (teste) foram submetidas à irradiação, de acordo com o tempo previamente calculado (equação 1 e 2).

$$\frac{m}{\dots} \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo:

P= Potência real do aparelho de micro-ondas em W;

Cp= 1,0 J. ml⁻¹. °K⁻¹, capacidade térmica da água;

K= 4,184, fator de correção de Caloria m⁻¹. K⁻¹ para Watt (J . S⁻¹);

T= Variação de temperatura da água em 2 minutos de exposição, em °C;

m= 1000 g, massa de água, em grama;

t= 120 s, tempo de exposição da água a radiação do micro-ondas

Em seguida determina-se o tempo de exposição das amostras à irradiação do micro-ondas, usando a fórmula:

$$\frac{m}{\dots} \quad \text{Eq. 2}$$

Sendo:

T= tempo de exposição das amostras à irradiação do micro-ondas;

r= 800 J. g⁻¹ de solo, quantidade de energia irradiada durante a exposição;

mt= massa total das amostras a serem irradiadas;

P= potência do aparelho em watts.

Em seguida, foram acrescentados 40 mL de solução de sulfato de potássio a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em ambas as amostras, teste e controle, e conduzidas a agitador horizontal a 175 rpm durante 30 minutos. Após agitação, as amostras permaneceram em repouso por mais 30 minutos e foram filtradas em papel filtro qualitativo, recolhendo-se o extrato filtrado. Para determinação, foi pipetado 10 mL de cada extrato filtrado em erlenmayer de 125 mL, adicionado 2,0 mL de solução de dicromato de potássio a $0,066 \text{ mol L}^{-1}$ e 10 mL de ácido sulfúrico concentrado. Aguardou-se esfriar, foi adicionado 50 mL de água destilada, esperou esfriar, e foi acrescentado 4 gotas do indicador ferroin. A titulação foi feita com solução de sulfato ferroso amoniacal. Os valores do carbono presente na biomassa microbiana foram obtidos através da seguinte equação 3.

$$C = \frac{V_m (V_a - V_b) \cdot N \cdot 1000}{V_e \cdot 1000}$$

Onde:

V_b = média do volume gasto na titulação dos brancos;

V_m = média do volume gasto na titulação das amostras;

Volume extrator = 80 mL, volume de $K_2 SO_4$ 0,5 M utilizado na extração;

Volume extrato = 10 mL, volume da alíquota do extrato titulado.

3.1.3 Quociente Metabólico do Solo ($q CO_2$)

O quociente metabólico, que representa a quantidade de CO_2 liberado por unidade de biomassa microbiana, foi estimado pela razão entre a atividade respiratória microbiana (ARM) e o carbono da biomassa microbiana do solo (CBM) (ANDERSON; DOMSCH, 1993), seguindo a equação 4.



3.1.4 Carbono Orgânico Total do Solo

O carbono orgânico total foi determinado através do método proposto por Walkley e Black (1934). Foram utilizados 500 miligramas de amostra de solo passadas em peneira de abertura de malha 0,5 mm e colocadas em erlenmeyer de 500 mL. Em seguida, foram adicionados 10 mL de solução de dicromato de potássio $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ e 20 mL de ácido sulfúrico concentrado, agitando. Após repouso de 30 minutos, adicionaram-se 200 mL de água destilada, 10 mL de ácido fosfórico concentrado e 1 mL de difenilamina 0,16%. A titulação do excesso de dicromato foi realizada com sulfato ferroso amoniacal.

3.1.5 Nitrogênio Total (NT)

Os valores de nitrogênio total correspondente às amostras de solo foram obtidos pelo método de Dumas (RIBEIRO, 2010), em analisador de nitrogênio, marca LECO, modelo FP-528, provido de carrossel amostrador com 35 posições.

3.1.6 Nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N_{BMS})

O extrato para a determinação do nitrogênio da biomassa microbiana foi obtido através da adaptação do método fumigação-extração descrito por Vance, Brookes e Jenkinson (1987). Foram pesados 12,5 g de solo seco, sempre duas amostras, em béquer de 50 mL as que foram fumigadas (F), e em erlenmeyers, as não fumigadas (NF), correspondentes a cada amostra, e elevado a sua umidade a 100% da capacidade de retenção de água (CRA). As amostras (F) foram inseridas em dessecador forrado com papel filtro umedecido com água destilada, e inserido mais dois béqueres de 100 mL em seu interior, um contendo 50 mL de água destilada, e o segundo contendo pérolas de vidro com 50 mL de clorofórmio isento de álcool, estabilizado com amileno. Foi feito vácuo com bomba de vácuo durante 15 minutos, sendo o tempo, cronometrado, após o surgimento das bolhas do clorofórmio, e a pressão controlada. Em seguida, foi fechada a saída de vácuo do dessecador e teve início a incubação em estufa incubadora para B.O.D modelo 347 F, durante 7 dias (PEREZ; RAMOS; MC MANUS, 2005), a 25° C . Após o período de

incubação, foi retirado os béqueres com clorofórmio e com água destilada, e as amostras (F) foram defumigadas através de 8 vácuos consecutivos, com duração de 3 minutos cada.

Ao serem defumigadas, as amostras (F) foram transferidas para erlenmeyers com capacidade para 250 mL, e foi adicionado às amostras (F) e (NF) 50 mL de solução de sulfato de potássio a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, os erlenmeyers foram vedados com papel alumínio e conduzidos a agitador horizontal a 175 rpm durante 1 hora. Ao término da agitação, as amostras (F) e (NF) permaneceram em repouso por 30 minutos e em seguida os extratos foram filtrados em papel-filtro Whatman 42.

A determinação foi realizada através da adaptação do método de Brookes et al. (1985), sendo pipetado em tubo digestor 5 mL do extrato, adicionado a 5 mL da mistura digestora, em bloco digestor, foi realizada pré-digestão a 80°C durante 12 horas, seguida de mais 1 h e 30 min a 150°C e concluída a 300°C durante 3 horas (PEREZ; RAMOS; MC MANUS, 2005; FIGUEIREDO et al., 2007). Ao término da digestão, seguida de resfriamento, as paredes dos tubos digestores foram lavadas com água destilada e conduzidos a destilador de nitrogênio a 60°C , acrescentando-se 15 mL de hidróxido de sódio 15 mol L^{-1} . Em erlenmeyer com capacidade para 100 mL, foi recolhido 40 mL do destilado em 5 mL da solução indicadora. A titulação foi feita com solução de ácido sulfúrico a 0,002 N, até a mudança da cor verde para rosa.

3.1.7 Atividade Enzimática da Urease

A atividade enzimática da urease foi determinada segundo McGarity e Myers (1967), pesando-se em tubo de ensaio 18 x 180 mm, teste e controle, 2,0 g de solo seco ($< 2 \text{ mm}$), aplicando 0,2 mL de tolueno e deixando-se em repouso por 15 minutos. Foi adicionado tampão fosfato $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ pH 6,7 e 1,0 mL de ureia 10% nos tubos testes, seguido teste e controle de incubação em banho maria a 37°C por 3 horas. Após incubação, foi adicionado aos tubos 3,0 mL de água destilada e 1,0 mL de solução ureia a 10% nos tubos controle. Foram agitados e centrifugados a 10.000 rpm durante 10 minutos.

A determinação do NH_4 da atividade enzimática foi realizada pelo método azul indofenol, modificado, tomando-se 0,1 mL do sobrenadante em tubo de ensaio 18 x 180 mm, acrescido de 2,1 mL de água destilada, com 0,5 mL de solução fenolato (mistura 1: 1: 3 de solução de fenol + NaOH + H_2O), com 0,3 mL de solução de hipoclorito a 0,9% de cloro ativo. Em seguida os tubos foram agitados, incubados em temperatura ambiente por 1 hora, e a leitura feita em espectrofotômetro a absorvância de 630 nm. O cálculo para os valores de N na forma de NH_4 foram obtidos com o auxílio de curva padrão com 0, 4, 8, 12, 16 e 20 $\mu\text{g tubo}^{-1}$ de sulfato de amônio.

3.1.8 Atividade Enzimática da Desidrogenase

A atividade da desidrogenase no solo foi determinada segundo Casida et al. (1964). Foram pesados 3 g de solo seco (< 2 mm) em tubo de ensaio 18 x 180 mm, adicionado 0,03 g de carbonato de cálcio, 0,5 mL de cloreto de 2,3,5-tripheniltetrazolio (TTC) e 1,3 mL de água destilada. A mistura foi homogeneizada, os tubos vedados com filme plástico PVC e conduzidos a banho maria a 37° C por 24 horas. Após incubação, foi inserido nos tubos de ensaio 10 mL de metanol, agitados, filtrados em papel filtro Whatman 42, sendo transferidos para erlenmeyers de 125 mL, e a intensidade da cor vermelha foi medida em espectrofotômetro com absorvância de 485 nm. As concentrações de trifenilformazan (TPF) formado pela redução do TTC a TPF foram calculados com auxílio de curva padrão com 0, 5, 10, 20, 30, 40 e 60 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de TPF.

3.1.9 Atividade da Enzimática da Amilase

Para a atividade enzimática da amilase, foi realizada a extração, pesando-se 2 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em tubo de ensaio 18 x 180 mm, acrescentando 0,3 mL de tolueno, deixando em repouso por 15 minutos. Foi adicionado aos tubos de ensaio 5 mL da solução tampão mais substrato composto por 0,1 mL de acetato de sódio contendo 50 mg de amido a pH 5,0, e foi incubado em estufa incubadora para B.O.D modelo 347 F, a 25°C durante 24 horas. Ao término do período de incubação,

foi adicionado aos tubos 10 mL de água destilada, agitados vigorosamente, e a solução formada transferida para tubos de centrifuga, onde foram centrifugados a $12,350 \times g$, durante 10 minutos (COLE, 1977).

A determinação foi feita pelo método do açúcar redutor de Somogyi-Nelson (SOMOGYI, 1952). Pipetou-se 1,0 mL do extrato obtido, em tubo de ensaio 18 x 180 mm, adicionou 1,0 mL de solução cúprica alcalina, e agitou-se vigorosamente. Após agitação, os tubos foram vedados com fita de PVC e incubados em um recipiente com água em ponto de ebulição por 20 minutos. Ao término da incubação, foi adicionado 1,0 mL de reagente arsenomolibdato e 5 mL de água destilada. A leitura da absorbância foi feita a 660 nm e os valores das atividades obtidos com auxílio de curva padrão com 0, 20, 40, 60 e 80 μg de glicose tubo⁻¹

4 RESULTADOS

4.1 Efeitos dos Sistemas de Manejo do Solo

Os sistemas de manejo do solo promoveram alterações significativas ($p < 0,01$) na ARM, COT, N_{BMS} e AEU. Entretanto, não foi verificado efeito significativo no CBM, $q\ CO_2$, NT, AED e AEA (Tabela 3). Isoladamente, não foi verificado significância para as doses de N, na forma de ureia (Tabela 4). Porém, excetuando o nitrogênio total, foi verificado efeito significativo a ($p < 0,01$) da interação experimentos (E) x adubação (A) (Tabela 3). De forma isolada, com exceção do $q\ CO_2$, as doses de esterco bovino apresentaram efeito significativo ($p < 0,01$) sobre as demais variáveis analisadas (Tabela 5).

Tabela 3. Análise conjunta para comparar a atividade respiratória microbiana (ARM), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico ($q\text{ CO}_2$), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), nitrogênio da biomassa microbiana (N_{BMS}), atividade enzimática da urease (AEU), desidrogenase (AED) e amilase (AEA), nos quatro experimentos.

Experimentos (E)	ARM $\mu\text{g CO}_2\text{ g}^{-1}$ de C no solo	CBM $\mu\text{g g}^{-1}$ de C no solo	$q\text{ CO}_2$ $\mu\text{g CO}_2/$ $\mu\text{g C MIC}$	COT g kg^{-1}	NT g kg^{-1}	N_{BMS} $\mu\text{g NH}_4\text{-N}$ na BM	AEU $\mu\text{g NH}_4$ N/3h.g SS	AED $\mu\text{g TPF g}^{-1}$ SS 24 h ⁻¹	AEA $\mu\text{g de}$ glicose g^{-1} SS 24 h ⁻¹
PC M	335,39 B	116,95 A	2,89 A	13,21 B	2,51 A	7,05 B	22,19 C	35,17 A	8,51 A
PC E	516,81 B	121,30 A	4,36 A	15,42 AB	2,58 A	11,46 B	25,37 C	79,85 A	16,96 A
PD M/M	894,37 A	125,69 A	7,53 A	17,06 A	2,40 A	14,07 AB	49,07 B	72,46 A	14,01 A
PD L/M	1004,38 A	110,95 A	11,27 A	16,79 A	2,35 A	22,88 A	65,08 A	83,46 A	12,51 A
DMS (5%)	328,33	-	-	3,46	-	10,14	11,51	-	-
Interação E x A	14,86 ^{**}	4,93 ^{**}	8,08 ^{**}	9,19 ^{**}	1,98 ^{ns}	9,61 ^{**}	0,91 ^{**}	22,52 ^{**}	20,48 ^{**}
Teste F	21,96 ^{**}	0,14 ^{ns}	4,33 ^{ns}	6,20 ^{**}	0,84 ^{ns}	10,35 ^{**}	74,75 ^{**}	2,26 ^{ns}	1,26 ^{ns}

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a (5%); significativo a 0,01 (**) de probabilidade de erro, não significativo (ns).

Tabela 4. Análise conjunta para comparar o efeito isolado das doses de nitrogênio sobre atividade respiratória microbiana (ARM), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (q CO₂), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), nitrogênio da biomassa microbiana (N_{BMS}), atividade enzimática da urease (AEU), desidrogenase (AED) e amilase (AEA), nos três experimentos adubados com ureia.

Doses de N	ARM µg CO ₂ g ⁻¹ de C no solo	CBM µg g ⁻¹ de C no solo	q CO₂ µg CO ₂ / µg C MIC	COT g kg ⁻¹	NT g kg ⁻¹	N_{BMS} µg NH ₄ -N na BM	AEU µg NH ₄ N/3h.g SS	AED µg TPF g ⁻¹ SS 24 h ⁻¹	AEA µg de glicose g ⁻¹ SS 24 h ⁻¹
0	768,02 A	110,15 A	8,78 A	16,03 A	2,37 A	12,38 A	43,58 A	60,97 A	11,58 A
90	692,72 A	117,09 A	6,71 A	15,06 A	2,39 A	13,70 A	43,12 A	61,81 A	10,50 A
180	773,40 A	126,35 A	6,19 A	15,98 A	2,49 A	17,94 A	49,64 A	68,32 A	12,95 A
Teste F	1,37 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,40 ^{ns}	2,22 ^{ns}	2,35 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,19 ^{ns}
DMS (5%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a (5%); significativo a 0,01 (**) de probabilidade de erro, não significativo (ns).

Tabela 5. Análise individual para verificar a atividade respiratória microbiana (ARM), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (q CO₂), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), nitrogênio da biomassa microbiana (N_{BMS}), atividade enzimática da urease (AEU), desidrogenase (AED) e amilase (AEA), no experimento adubado com esterco bovino.

Doses de E	ARM µg CO ₂ g ⁻¹ de C no solo	CBM µg g ⁻¹ de C no solo	q CO₂ µg CO ₂ / µg C MIC	COT g kg ⁻¹	NT g kg ⁻¹	N_{BMS} µg NH ₄ -N na BM	AEU µg NH ₄ N/3h.g SS	AED µg TPF g ⁻¹ SS 24 h ⁻¹	AEA µg de glicose g ⁻¹ SS 24 h ⁻¹
0	351,82 C	82,54 B	4,40 A	14,01 B	2,30 C	3,85 C	21,36 B	46,69 B	8,38 C
5	434,33 B	134,52 AB	3,33 A	14,60 B	2,49 B	13,31 B	19,88 B	50,72 B	19,78 B
60	764,30 A	146,84 A	5,34 A	17,64 A	2,95 A	17,20 A	34,86 A	142,15 A	22,73 A
Teste F	198,30**	7,22**	4,35 ^{ns}	35,95**	69,14**	65,46**	32,11**	133,37**	290,13**
DMS (5%)	67,25	55,13	-	1,40	0,17	3,68	6,32	20,28	1,93

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a (5%); significativo a 0,01 (**) de probabilidade de erro, não significativo (ns).

4.1.1 Atividade Respiratória Microbiana

Maior liberação de CO₂ (1004,38 µg CO₂ g⁻¹ de C no solo) via atividade respiratória microbiana, foi observado no sistema PD L/M (Tabela 3). O valor foi 66,60 e 48,54% superior aos verificados nos sistemas PC M e PC E, respectivamente, não havendo diferença significativa entre PD L/M e PD M/M.

4.1.2 Carbono Orgânico Total

Os maiores valores de carbono orgânico total (17,06 g kg⁻¹) foram observados no sistema PD M/M, com superioridade de 22,56% em relação ao PC M (Tabela 3). Não houve diferença significativa entre os sistemas de plantio direto, mesmo composto por diferentes sucessões de culturas, e o plantio convencional com adubação orgânica. Não foi observado diferença estatística entre os sistemas de plantio convencional, mas entre estes sistemas, os valores de COT foram superiores no PC E.

4.1.3 Nitrogênio da Biomassa Microbiana

O sistema PD L/M, no qual foi obtido o maior valor de N_{BMS} (22,88 µg N-NH₄), diferiu significativamente dos sistemas de plantio convencional, apresentando valor de N_{BMS} superior 69,18% em relação a PC M e 49,91% a PC E (Tabela 3), não foi observado diferença significativa entre os sistemas de plantio direto, mesmo sendo compostos por diferentes sucessões de cultura.

4.1.4 Atividade Enzimática da Urease

Analisando o efeito dos sistemas de manejo sobre a atividade enzimática da urease, pode ser observado que o maior valor 65,08 µg NH₄-N/3h g solo seco, foi obtido no sistema PD L/M, com superioridade de 24,60% em relação ao PD M/M que apresentou valor de 49,07 µg NH₄-N/3h g solo seco. Os sistemas PC M e PC E não

diferiram entre si estatisticamente, e foram inferiores em 65,90 e 61,01%, respectivamente, ao sistema PD L/M (Tabela 3).

4.2 Efeitos das Doses Dentro dos Sistemas de Manejo do Solo

4.2.1 Atividade Respiratória Microbiana

O maior fluxo de CO_2 ($1094,30 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de C no solo) via ARM foi obtido no sistema PD L/M na dose zero, ocorrendo variações: $917,45$ e $998,18 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de C no solo, com a aplicação das doses em 90 e 180 kg ha^{-1} , respectivamente. No PD M/M, a ARM aumentou de forma linear crescente com o incremento das doses de N, com valor máximo de $962,95 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de C no solo, obtido com a maior dose de N (Figura 1). Comportamento semelhante foi observado no PC E, no qual a maior dose de esterco bovino resultou no aumento da ARM, com valor máximo de $766,42 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de C no solo (Figura 1). Não foi verificado efeito das doses no sistema PC M.

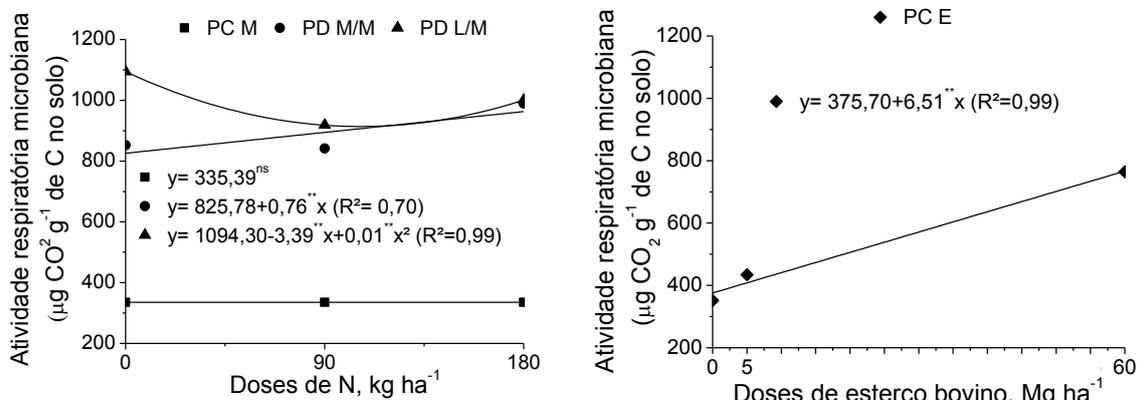


Figura 1. Atividade respiratória microbiana em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).

4.2.2 Carbono da Biomassa Microbiana

A aplicação de doses de N no sistema PD L/M teve efeito linear crescente do CBM, com valor de $152,83 \mu\text{g g}^{-1}$ de C no solo, obtido com a maior dose (Figura 2).

Resultado oposto foi verificado no sistema PD M/M, de forma que a maior dose proporcionou redução de 27,10% em relação a menor. Não foi verificado efeito significativo das doses de N no sistema PC M. Entretanto, no PC E, o CBM (Figura 2) aumentou com o incremento das doses de esterco bovino, apresentando valor de $148,94 \mu\text{g g}^{-1}$ de C no solo.

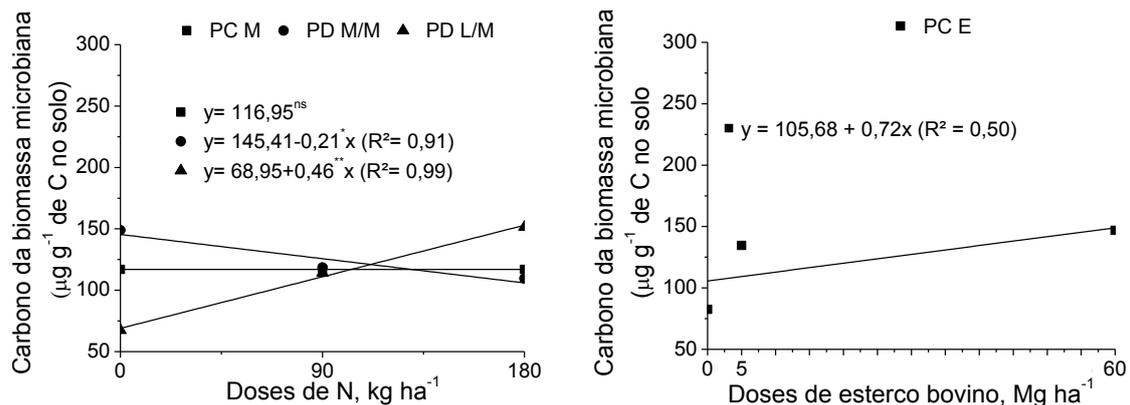


Figura 2. Carbono da biomassa microbiana em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).

4.2.3 Quociente Metabólico

O $q \text{ CO}_2$, que expressa a taxa respiratória por unidade de CBM, apenas foi afetado de forma significativa pelas doses de N no sistema PD LM, apresentando comportamento linear decrescente com o maior valor $16,55 \mu\text{g CO}_2 / \mu\text{g C}$ no microrganismo, obtido na menor dose (Figura 3).

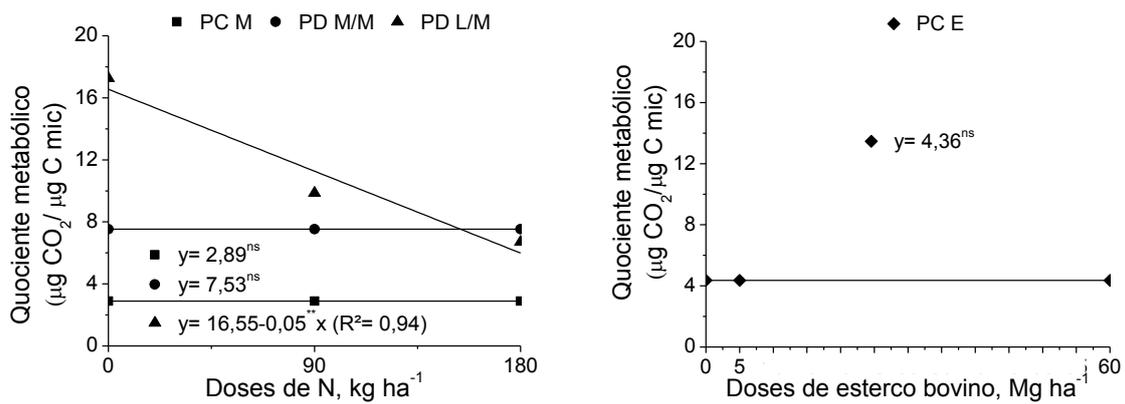


Figura 3. Quociente metabólico em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).

4.2.4 Carbono Orgânico Total

Os teores de carbono orgânico total nos sistemas de manejo foram influenciados pelas doses de N e esterco bovino. Tendência linear crescente em função das doses de N foi observada no PD M/M, com o maior valor ($17,83 \text{ g kg}^{-1}$) obtido com a dose de 180 kg ha^{-1} de N (Figura 4). No sistema PD L/M foi observado que tanto a dose zero quanto a maior dose (180 kg ha^{-1} de N), proporcionaram os mesmos teores ($17,29 \text{ g kg}^{-1}$) de COT. No PC M o maior teor de carbono ($14,52 \text{ g kg}^{-1}$) foi verificado na dose zero, enquanto que no PC E, foi verificado tendência linear crescente em função das doses de esterco bovino, obtendo-se o valor de $17,63 \text{ g kg}^{-1}$.

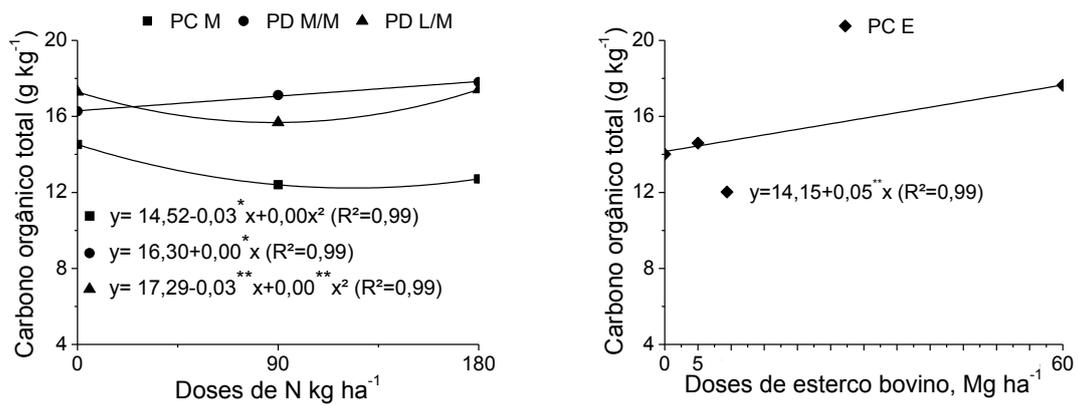


Figura 4. Carbono orgânico total em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).

4.2.5 Nitrogênio Total

Para o N total foi verificado efeito significativo, com comportamento linear crescente no sistema PC E em função das doses de esterco bovino, sendo o maior valor (2,91 g kg⁻¹) obtido com a maior dose do insumo (Figura 5). Não houve efeito significativo das doses de N nos demais sistemas estudados (Figura 5).

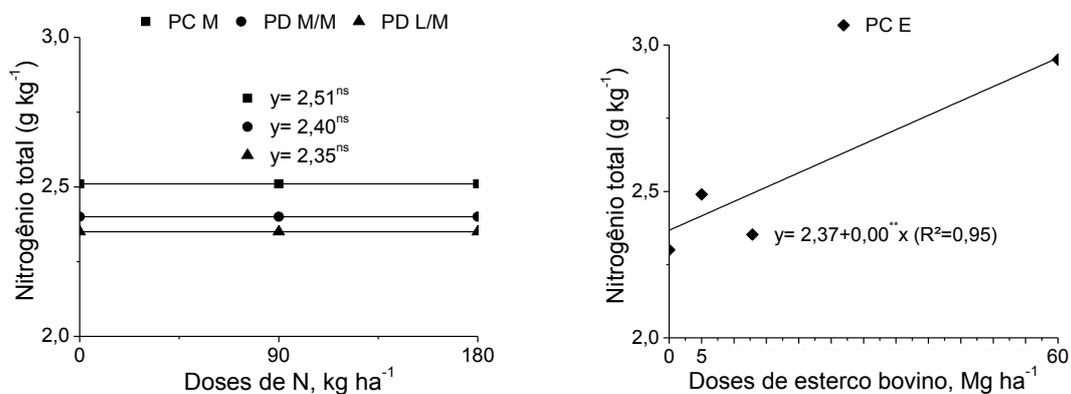


Figura 5. Nitrogênio total em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).

4.2.6 Nitrogênio da Biomassa Microbiana

As doses de N influenciaram de forma significativa o N_{BMS} em todos os sistemas de manejo estudados (Figura 6). No PD L/M foi verificado comportamento

polinomial quadrático, com inibição transiente do N_{BMS} na dose de 90 kg ha⁻¹, voltando a aumentar quando aplicado a maior dose de N, onde foi obtido o valor de N_{BMS} (47,00 µg NH₄-N na biomassa microbiana). Nos sistemas PD M/M e PC M foi observado tendência linear crescente para as doses de N, com valores de 18,99 e 10,20 µg NH₄-N na biomassa microbiana, respectivamente. O mesmo comportamento foi verificado no sistema PC E em função das doses de esterco bovino obtendo-se o maior valor 16,99 µg NH₄-N na biomassa microbiana, com a maior dose do insumo (Figura 6).

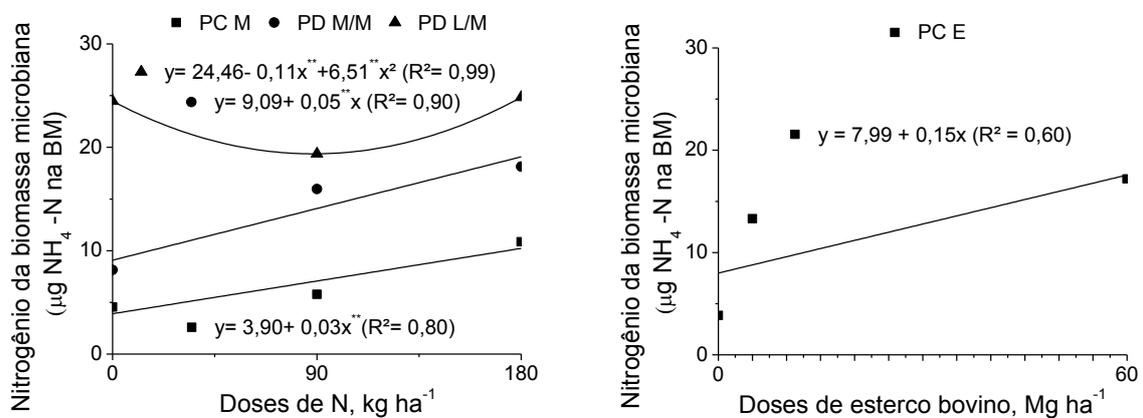


Figura 6. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).

4.2.7 Atividade Enzimática da Urease

Na atividade enzimática da urease, não houve efeito significativo das doses de N aplicadas na forma de ureia. Porém, efeito linear crescente foi observado quando se aplicou doses de esterco bovino, sendo o maior valor 34,71 µg NH₄-N/3h g solo seco, obtido com a dose de 60 Mg ha⁻¹ (Figura 7).

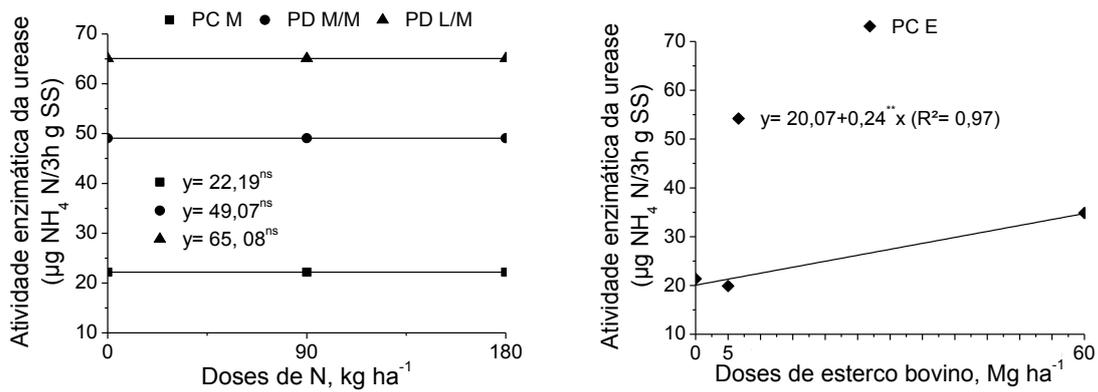


Figura 7. Atividade enzimática da urease em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).

4.2.8 Atividade Enzimática da Desidrogenase

Na Figura 8 é observado que entre os sistemas de manejo adubados com N na forma de ureia, houve tendência linear crescente da atividade enzimática da desidrogenase apenas no PD M/M, obtendo-se o valor de 81,91 µg TPF g⁻¹ SS 24 h⁻¹ com a dose de 180 kg ha⁻¹. A mesma tendência também é observada no sistema PC E em função da adubação com esterco bovino, onde foi verificado maior atividade enzimática da desidrogenase, com o valor de 141,94 µg TPF g⁻¹ SS 24 h⁻¹.

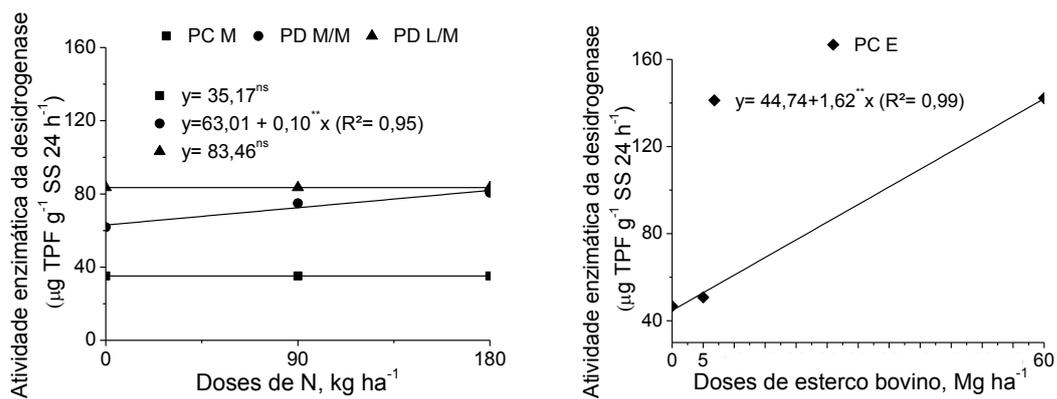


Figura 8. Atividade enzimática da desidrogenase em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).

4.2.9 Atividade Enzimática da Amilase

Observa-se na Figura 9, que houve tendência linear crescente da atividade enzimática da amilase no sistema PC M, apresentando valor de 13,47 μg de glicose g^{-1} de solo seco 24 h^{-1} na dose de 180 kg ha^{-1} de N, porém, entre os sistemas submetidos a adubação com N, o maior valor (17,71 μg de glicose g^{-1} SS 24 h^{-1}) foi observado no sistema PD L/M na dose zero, com decréscimo transiente com o aumento da dose. Não foi verificado efeito da adubação com N no sistema PD M/M. Tendência linear crescente foi verificada no sistema PC E em função da adubação com esterco bovino, como valor de 23,0 μg de glicose g^{-1} de solo seco 24 h^{-1} obtido na dose de 60 Mg ha^{-1} .

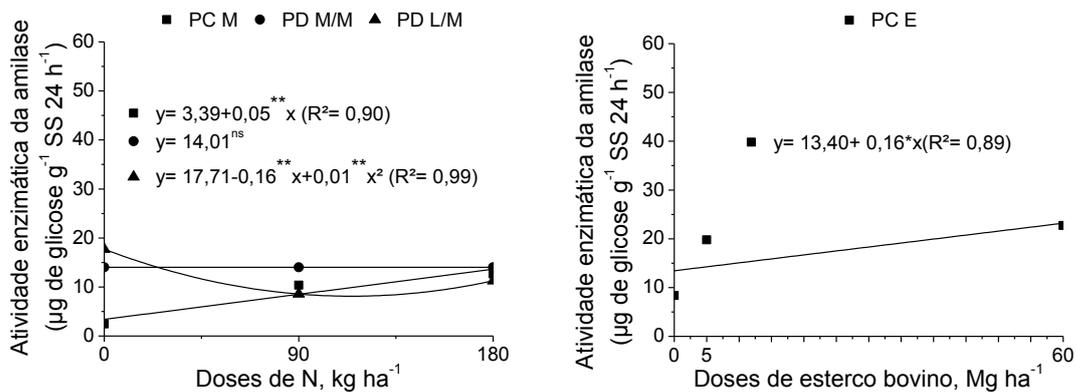


Figura 9. Atividade enzimática da amilase em solo de área de plantio de milho cultivado em sistema convencional, com adubação com ureia (PC M) e com esterco bovino (PC E), plantio direto com adubação com ureia em sucessão milho/milho (PD M/M) e leguminosa/milho (PD L/M).

5 DISCUSSÃO

5.1 Efeitos dos Sistemas de Manejo do Solo

5.1.1 Atividade Respiratória Microbiana

Sistemas de plantio direto proporcionam a incorporação de resíduos ao solo promovendo acúmulo de matéria orgânica em frações lábeis e, estimulando a atividade biológica que resulta em liberação de CO₂. Segundo Cattelan e Vidor (1990), alta atividade biológica está relacionada a maior liberação de CO₂, isso explica a superioridade em ARM dos sistemas PD L/M e PD M/M em relação a PC M e PC E (Tabela 3).

Resultados semelhantes foram obtidos por Hungria et al. (2009) ao verificarem maior ARM em sistema plantio direto com rotação soja/ trigo em comparação ao sistema convencional. Hofman et al. (2004) ao fazerem o monitoramento da biomassa microbiana e atividade respiratória microbiana em solos sob diferentes usos, verificaram menor ARM em solos aráveis, moderada em solos com cultivo de pastagens e maior em solos de floresta.

Nos trabalhos de Follet e Schimel (1989) e Vargas e Scholles (2000), foram verificados maiores ARM em sistemas de plantio direto em relação aos sistemas convencionais. Estes autores atribuíram estes resultados ao acúmulo de matéria orgânica rica em carboidratos, compostos nitrogenados e, também ao aumento da biomassa microbiana ao longo do tempo no sistema plantio direto em comparação ao convencional.

5.1.2 Carbono Orgânico Total

A dinâmica do carbono orgânico do solo é altamente modificada pelos sistemas de manejo (SIX; ELLIOT; PAUSTIAN, 1999). Diversos estudos (BODDEY et al., 2010; LÓPEZ-GUARRIDO et al., 2012; SILVA et al., 2014) tem relatado acréscimos nos teores de carbono orgânico total no solo em sistemas de plantio direto em comparação ao convencional, como também foram verificados neste estudo (Tabela 3). O maior teor de carbono orgânico total nos sistemas PD M/M e

PD L/M em relação a PC M pode ser explicado pela maior estabilidade do ambiente em plantio direto de longa duração, devido ao não revolvimento do solo e da maior preservação dos resíduos orgânicos, o que implica em equilíbrio das taxas médias de entrada de carbono no solo via resíduo vegetal (SIQUEIRA NETO et al., 2010). Um dos fatores que mais contribuem para a redução do carbono do solo é a aceleração do processo de mineralização causado pelo revolvimento do solo, que acarreta na quebra dos macroagregados e expõe a matéria orgânica ao ataque de microrganismos, de forma desequilibrada (SIX et al., 2004). Porém, o fato de não ter sido observado diferença estatística entre os sistemas de plantio direto, e o convencional adubado com esterco bovino, sugere que as perdas de carbono orgânico total, ocorridas devido ao revolvimento do solo, podem ser minimizadas quando se utiliza esterco bovino na adubação, por ser um resíduo que apresenta baixa relação C/N, permitindo maior velocidade no processo de mineralização. Posto que, quando não ocorre de forma desequilibrada, a decomposição e mineralização da matéria orgânica por meio da atuação de microrganismos do solo é um processo natural, do qual o aporte de carbono orgânico do solo é dependente.

5.1.3 Nitrogênio da Biomassa Microbiana

Os valores de N_{BMS} significativamente mais elevados em sistema PD L/M, quando comparados a PC M e PC E (Tabela 3), demonstram a influência do manejo nos atributos microbiológicos do solo. Silva et al. (2010) ao estudarem o efeito da atividade de microrganismos em experimentos de quatro e 26 anos, com diferentes sistemas de manejo do solo, observaram valor de N_{BMS} 97% mais elevado em sistema de plantio direto em comparação ao convencional. Como neste experimento, os autores supracitados também não observaram diferença significativa entre a sucessão de cultura soja/ trigo, todavia, maiores valores de N_{BMS} sempre foram obtidos em sistemas com sucessão de culturas. Os compostos exsudatos produzidos pelo sistema radicular das plantas, incluem a secreção de íons, oxigênio livre, água, enzimas, mucilagem e uma diversidade de metabólitos primários e secundários com carbono em sua composição (BERTIN; YANG; WESTON, 2003). A proporção e composição desses compostos variam conforme a

espécie e estágio fenológico da planta, aos impedimentos mecânicos ao crescimento da raiz e a condição nutricional (BAREA et al., 2005; RICHARDSON et al., 2009). O fato de diferenças entre as rotações de cultura nos sistemas de plantio direto, apenas serem observadas no nitrogênio da biomassa microbiana e na atividade enzimática da urease (Tabela 3), variáveis estas, que estão diretamente envolvidas na dinâmica do nitrogênio no solo, pode indicar que as condições propiciadas pela rotação de culturas, como a produção de exsudatos, estão favorecendo grupos de microrganismos específicos, que atuam na disponibilização de nitrogênio no solo, e também aumentam a sinalização cruzada entre raízes e microrganismos (BAIS et al., 2004). Hungria et al. (1997) relataram que exsudatos oriundos de *Phaseolus vulgaris* L. e *Zea mays* L. incrementaram a taxa de crescimento de *Rhizobium* sp. e *Azospirillum lipoferum*, respectivamente, responsáveis pela fixação biológica nessas plantas.

Já os efeitos positivos observados nos sistemas de plantio direto em comparação ao convencional podem estar relacionados a menor perturbação do solo, incluindo menores interrupções da atividade de hifas fúngicas, proteção do habitat microbiano, aumento do teor de umidade, e condições menos extremas de temperatura (RHOTON, 2000).

5.1.4 Atividade Enzimática da Urease

Os diferentes resultados da atividade enzimática da urease verificados nos sistemas de manejo estudados podem ser decorrentes do fato de que a atividade da urease é proporcional ao aumento da matéria orgânica do solo (ROLDÁN et al., 2003), e portanto, aos sistemas de manejo que favoreçam o seu acúmulo, como o PD L/M e PD M/M (Tabela 3). A mineralização do nitrogênio é resultante da degradação de formas orgânicas deste elemento, decorrente da atividade de microrganismos que desempenham importância fundamental no ciclo do nitrogênio (SAHA et al., 2008). A relação C/N tem sido a característica mais usada em modelos para prever a disponibilidade de N no solo durante a decomposição de materiais orgânicos (NICOLARDOT; RECOUS; MARY, 2001). Desta forma, a maior atividade da urease no sistema PD L/M em relação a PD M/M pode ser devido a menor

relação C/N da leguminosa, que permite a decomposição e mineralização mais rápida em relação a sucessão milho/milho (GIACOMINI et al., 2003). A superioridade do sistema de plantio direto em comparação ao convencional está em acordo com Van Den Bosshe et al. (2009) ao observarem que a atividade da urease foi superior entre 50 a 100% em sistema plantio direto em relação ao convencional. Os autores atribuíram este resultado aos maiores teores de C em plantio direto, que estimularia a atividade microbiana do solo. Com relação as sucessões de cultura, Klose e Tabatabai (2000) avaliaram a atividade da urease em sistemas de culturas em duas localidades, observaram em uma delas que entre a sucessão milho/milho e milho/soja não houve diferenças significativas. Porém, quando a alfafa foi adicionada aos sistemas, a atividade da enzima foi superior.

Os resultados referentes à atividade enzimática da urease no presente trabalho, assim como os poucos trabalhos encontrados na literatura indicam que há variação do efeito provocado por sistemas de manejo e sucessões de culturas, e também evidenciam a grande lacuna referente a falta de estudos que permitam melhor compreender estes efeitos.

5.2. Efeito das Doses Dentro dos Sistemas de Manejo do Solo

5.2.1 Atividade Respiratória Microbiana

O fluxo de CO₂ no solo via ARM é resultado da intensidade das funções metabólicas, principalmente, de bactérias e fungos via degradação da matéria orgânica (CATTELAN; VIDOR, 1990). Taxas de deposição de N no solo (JANSSENS et al., 2010), assim como a adubação nitrogenada (MO et al., 2008), podem influenciar na redução da decomposição da matéria orgânica e afetar a atividade microbiana. Isso pode explicar o fato de a maior liberação de CO₂ ser verificada no sistema PD L/M na dose zero. Porém, no sistema PD M/M houve aumento da ARM conforme o incremento das doses de N, este resultado é contrário ao dogma comum que assume uma relação linear negativa entre a ARM e a adubação nitrogenada (GAO et al., 2014). Desta forma, pode-se sugerir que a tendência linear crescente do sistema PD M/M em função das doses de N, indique um fator de estresse da

microbiota do solo, notadamente pelo fato do aumento da ARM (Figura 1) não ser acompanhado do crescimento em biomassa microbiana (Figura 2).

O incremento em ARM observado no sistema PC E em função das doses de esterco bovino, ocorre devido a correlação linear crescente que a biomassa microbiana possui com o aumento do carbono orgânico do solo, advindo da adubação orgânica, e ao estímulo da atividade de microrganismos em consequência ao aumento de substratos facilmente disponíveis, como observado em experimentos de 40 anos, por Enwall et al. (2007). Liu et al. (2010) verificaram mudanças significativas em experimento de 30 anos, da aplicação de ureia e esterco bovino nas propriedades microbiológicas do solo, sendo os maiores valores de ARM obtidos com a adubação orgânica.

5.2.2 Carbono da Biomassa Microbiana

O aumento da biomassa microbiana em função das doses de N observado no sistema PD L/M, provavelmente ocorreu devido a multiplicação em número de células dos microrganismos devido ao fornecimento de nitrogênio que estava em quantidade inferior ao exigido pela comunidade microbiana (TRESEDER, 2008). Nos outros dois sistemas não houve crescimento microbiano, pois provavelmente não ocorreu estresse da comunidade microbiana devido a indisponibilidade de N. Em acordo aos resultados obtidos neste experimento, Zhao et al. (2015) ao estudarem o efeito de três doses de N na forma de ureia (338, 450 e 675 kg ha⁻¹ de N) em monocultura de gramínea (*Paspalum wetsfeteini*), leguminosa (*Medicago sativa*) e sucessão entre as duas espécies, verificaram maior biomassa microbiana no tratamento que recebeu a dose de 450 kg ha⁻¹ de N. Entretanto, é comum observar na literatura resultados que contrariam os obtidos neste experimento (RIFAI; MARKEWITZ; BORDERS, 2010; LIU et al., 2010). Esta contradição parece estar fortemente relacionada a fonte do adubo mineral, ao tempo de exposição da área a aplicação destes fertilizantes, e aos diferentes nichos de microrganismos presentes em cada sistema. Li et al. (2013) verificaram redução substancial da biomassa microbiana quando aplicado sulfato de amônio em relação a ureia. Rifai, Markewitz e Borders (2010) observaram reduções significativas da biomassa microbiana em área

de 20 anos de adubação nitrogenada intensiva. Treseder (2008) relatou que a adubação nitrogenada a longo prazo pode aumentar o potencial osmótico da solução do solo, diminuir o pH e inibir a decomposição de celulose, o que dificultaria os microrganismos obterem carbono e energia.

Resultados semelhantes aos obtidos neste experimento com relação a tendência linear crescente do CBM em função das doses de esterco bovino também foram observados por Heinze, Raupp e Joergensen (2010). Este efeito está relacionado ao fato de que o carbono prontamente metabolizável, além de aumentar a biomassa de raízes e produção de exsudatos devido ao crescimento das culturas, constitui-se no fator que mais contribui para o aumento da biomassa microbiana (LIU et al., 2010).

5.2.3 Quociente Metabólico

Quanto ao quociente metabólico, foi verificado no sistema PD L/M redução significativa em função das doses de N. Menores valores de $q\text{ CO}_2$ são associados a sistemas maduros e estáveis, enquanto valores mais elevados representam ecossistemas jovens submetidos a alguma situação de estresse (ANDERSON; DOMSCH, 1993). Portanto, pode-se argumentar que a redução do $q\text{ CO}_2$ indica uma comunidade microbiana mais eficiente. A redução verificada no presente estudo parece estar ligada a disponibilidade de N e aumento da biomassa microbiana como verificado por Cederlund et al. (2014). O maior valor de $q\text{ CO}_2$ verificado no sistema PC E em relação a PC M, manteve a proporcionalidade entre a atividade respiratória e o carbono da biomassa microbiana. Comportamento semelhante foi observado por Heinze, Raupp e Joergensen (2010), em solo tratado com adubo orgânico em relação a fertilizantes inorgânicos.

5.2.4 Carbono Orgânico Total

O retorno dos resíduos culturais ao solo é considerado o principal fator de controle da dinâmica do carbono orgânico do solo (DIVITO et al., 2011). O nitrogênio é o elemento mais absorvido pela cultura do milho, proporcionando maior produção

de massa seca, que após incorporação ao solo e decomposição, resultará em aumento dos teores de carbono no solo (CANTARELLA, 2007). Isso explica a tendência linear crescente dos teores de carbono em decorrência das doses de N no sistema PD M/M (Figura 4).

A tendência quadrática, com indiferença dos valores de carbono obtidos na menor e maior dose em função da aplicação de N no sistema PD L/M, pode ser resultado da maior capacidade de fixação biológica de N_2 da soja, tornando a quantidade de N adequada para sucessão da cultura do milho. Essa ideia pode ser suportada por trabalhos como o de Coutinho Neto et al. (2013) que verificaram maiores concentrações de N, produção de grãos e matéria seca quando o milho é cultivado após a soja em relação a sucessão milho/milho. Jagadamma et al. (2007) relataram que em condições de milho contínuo, a massa adicional de resíduos devolvidos ao solo devido a adubação nitrogenada foi maior do que os valores verificados em rotação milho/soja.

O decréscimo dos valores de carbono em virtude das doses de N observado no sistema PC M (Figura 4), pode estar associado a maior temperatura do solo e conseqüente aumento da evaporação devido a baixa quantidade de resíduos vegetais na cobertura, essas condições podem ter afetado a comunidade microbiana do solo, tornando a decomposição dos resíduos mais lenta, e uma provável correlação negativa entre a dinâmica de entrada e saída do carbono orgânico do solo.

A utilização de esterco bovino na adubação resulta na aplicação direta de matéria orgânica ao solo, o que pode ter contribuído para o efeito linear crescente verificado no sistema de plantio convencional adubado com esterco bovino. Estudos de 55 anos em campo, realizados na América do Norte e China também relatam que a aplicação de esterco aumentou o carbono orgânico do solo (WHALEN; CHANG, 2002; ZHU et al., 2015).

5.2.5 Nitrogênio Total

O comportamento linear crescente do nitrogênio total em função da adubação orgânica com esterco bovino no sistema PC E (Figura 5), provavelmente

ocorreu devido a liberação lenta de N do insumo orgânico, evitando as perdas de N por desnitrificação e lixiviação, como acontece em maior proporção quando aplicado adubos inorgânicos (YANG; GAO; REN, 2015). Além disso, estudos desenvolvidos por Bhattacharyya et al. (2008), denotam que o esterco bovino estimula a fixação biológica de N_2 , o que também pode ter contribuído para o resultado obtido neste estudo. Aumento do nitrogênio total no solo em função da adubação com esterco bovino também foi observado por Zhengchao et al. (2013).

5.2.6 Nitrogênio da Biomassa Microbiana

Foi verificado aumento do nitrogênio da biomassa microbiana em todos os sistemas de manejo do solo em função das doses de N e de esterco bovino (Figura 6), provavelmente, devido ao fato de que o crescimento microbiano pode ser limitado, muitas vezes, pela quantidade insuficiente de nutrientes no solo, e também pela adição de fontes de nitrogênio e carbono ao solo, que podem aumentar a biomassa e com isso imobilizá-los em sua constituição celular (GRAHAM; HAYNES; MEYER, 2002). Silvan et al. (2003) observaram relação diretamente proporcional entre o aumento do N_{BMS} e a maior fertilidade do solo resultante da aplicação de nitrogênio e o subsequente retorno dos restos vegetais ao solo. Acredita-se que o aumento dos valores de N_{BMS} proporcionado pela adubação com esterco bovino, tenha ocorrido devido a presença de comunidades microbianas metabolicamente mais ativas, capazes de responder rapidamente a entrada de resíduos orgânicos no sistema. Peacock et al. (2001) verificaram a presença de diferentes comunidades microbianas em áreas adubadas durante cinco anos com sulfato de amônio e esterco bovino, e que os maiores valores de C, N e biomassa microbiana do solo podem resultar em comunidades microbianas potencialmente mais eficientes na imobilização de N em sua parede celular.

5.2.7 Atividade Enzimática da Urease

A aplicação de adubos nitrogenados, quando não influenciam a atividade da urease no solo, como neste experimento (Figura 7), podem causar declínio da

atividade desta enzima, como verificado por Saha et al. (2008). Dick, Rasmussen e Kerle (1988) relataram decréscimo da atividade da urease com o aumento da aplicação de fertilizantes nitrogenados a base NH_3 , enquanto a adição de esterco aumentou a sua atividade. O NH_3 quando em solução aquosa se comporta como uma base transformando-se em íon amônio (NH_4^+), este por sua vez, também é produto da reação da urease, o que pode ter acarretado na inibição microbiana da atividade da urease (SAID; HAMIDO; KPOMBLEKOU, 2009).

Estudos de 26 e 17 anos têm indicado que a atividade de enzimas no solo são significativamente correlacionadas com os teores de carbono orgânico do solo (KANCIKERIMATH; SINGH, 2001; BASTIDA et al., 2007), pois a biodegradação da matéria orgânica estimula a síntese das enzimas no solo, o que pode explicar o aumento linear crescente da atividade enzimática da urease no sistema de plantio convencional, quando aplicado as doses de esterco bovino. Aumento da atividade de enzimas em experimento de 31 anos, em função da utilização de insumos orgânicos também foi relatado por Ai et al. (2012).

5.2.8 Atividade Enzimática da Desidrogenase

O efeito de fertilizantes sobre as atividades enzimáticas do solo podem variar de acordo com a composição, dose aplicada ao solo e a enzima testada (EIVAZI; BAYAN; SCHMIDT, 2003). No presente estudo, a tendência linear crescente da atividade enzimática da desidrogenase no sistema PD M/M em função das doses de N na forma de ureia (Figura 8), não foi bem compreendida, uma vez que este aumento não foi seguido do acréscimo em carbono da biomassa microbiana (Figura 2), como é relatado na literatura (KANCIKERIMATH; SINGH, 2001). Uma provável explicação para esta tendência, talvez seja a presença de uma comunidade microbiana específica, na qual a mesma não tenha utilizado o nitrogênio para crescer em número de células, mas que esta condição tenha aumentado a sua eficiência na atividade oxidativa (GARCIA; HERNANDEZ; COSTA, 1997). O incipiente número de trabalhos na literatura relatam que a aplicação de fertilizantes minerais a longo prazo (26 e 22 anos), possuem efeito inibitório sobre a

atividade da desidrogenase (KANCHIKERIMATH; SINGH, 2001; MELERO et al., 2011).

As enzimas no solo são produzidas a partir de microrganismos (KRÄMER; GREEN, 2000), e, geralmente, a multiplicação do número de microrganismos implica em maior atividade enzimática. Este acréscimo em número de microrganismos está relacionado ao ganho nos teores de carbono orgânico do solo, como também foi verificado por Böhme e Böhme (2006), o que explica a tendência linear crescente da atividade enzimática da desidrogenase no sistema PC E em função das doses de esterco bovino (Figura 8).

5.2.9 Atividade Enzimática da Amilase

Diferentes enzimas, sintetizadas na sua maioria por microrganismos do solo, entre elas, as amilases, são responsáveis pela mineralização da matéria orgânica (AOKI et al., 1995), promovendo assim uma maior disponibilidade de compostos necessários a nutrição das plantas (TIWARI; TIWARI; MISHRA, 1988).

A presença de enzimas no solo é resultado da síntese de determinados grupos de microrganismos e o estabelecimento desses grupos é dependente de vários fatores, entre eles, da presença de carboidratos específicos (ALEXANDER, 1977). As diferenças estruturais de determinados carboidratos no solo, como por exemplo, a celulose e o amido, estimulam populações microbianas com habilidades metabólicas diferentes, como os grupos dos microrganismos celulolíticos e amilolíticos, respectivamente. Os grupos de bactérias e fungos amilolíticos, celulolíticos, proteolíticos e ureolíticos do solo estão sujeitos ao efeito de culturas, da adubação nitrogenada, fosfatada, da calagem, e da aplicação de inseticidas (DODOR; TABATABAI, 2003; GUNDI et al., 2007). Sanomiya e Nahas (2003), encontraram diferentes grupos de microrganismos amilolíticos no solo e verificaram uma maior contribuição bacteriana comparada com a fúngica para síntese de enzimas no solo.

No sistema de plantio convencional, a adubação com ureia constitui na principal forma de fornecimento de N ao solo, pois este sistema não conta com o retorno de resíduos vegetais como acontece nos sistemas de plantio direto, e

matéria orgânica, como ocorre no sistema convencional adubado com esterco bovino. Supõe-se que esta condição possa ter contribuído para a seletividade de microrganismos amilolíticos mais eficientes na sintetização de nitrogênio, aumentando sua atividade em função das doses de N. Já o decréscimo da atividade da amilase verificado no sistema de plantio direto com sucessão leguminosa/milho pode ter ocorrido devido ao efeito inibitório da aplicação de nitrogênio sobre uma comunidade de microrganismos amilolíticos menos eficientes (DODOR; TABATABAI, 2003). Em relação ao efeito das doses de esterco bovino, os resultados sugerem que o amido presente neste composto orgânico tenha promovido um maior estabelecimento de grupos de microrganismos amilolíticos.

6 CONCLUSÃO

- O sistema de plantio direto com sucessão leguminosa/milho é o que melhor propicia condições favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos no solo.
- Sistema de plantio convencional adubado com esterco bovino apresenta maior atividade microbiana quando comparado com o plantio convencional adubado com ureia.
- As doses de N na forma de ureia proporcionam decréscimo da atividade de microrganismos em sistema de plantio direto com sucessão leguminosa/milho e acréscimo em plantio direto com sucessão milho/milho.
- A atividade de microrganismos no solo aumenta com o incremento das doses de esterco bovino.

7 REFERÊNCIAS¹

AI, C.; LIANG, G.; SUN, J.; WANG, X.; ZHOU, W. Responses of extracellular enzyme activities and microbial community in both the rhizosphere and bulk soil to long-term fertilization practices in a fluvo-aquic soil. **Geoderma**, v. 173, p. 330-338, 2012.

ALCARDE, J. C. **Manual de análise de fertilizante**. Piracicaba: FEALQ, 2009. 259 p.

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. New York : John Wiley, 1977. 467 p.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil Science**, v. 130, p. 211-216, 1980.

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

ANDRADE, A. P.; MAFRA, A. L.; BALDO, G. R.; PICOLA, C. D.; BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, A. Physical properties of a humic cambisol under tillage and cropping systems after 12 years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 219-226, 2010.

AOKI, K.; MIYAMOTO, K.; MURAKAMI, S.; SHINKE. Anaerobic synthesis of extracellular proteases by the soil bacterium *Bacillus* sp. AM-23: purification and characterization of the enzymes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, p.1377-1382, 1995.

ARNEBRANT, K.; BAATH, E.; SODERSTROM, B.; NOHRSTEDT, H.O. Soil microbial activity in eleven Swedish coniferous forests in relation to site fertility and nitrogen fertilization. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v.11, p.1-6, 1996.

AZIZ, I.; MAHMOOD, T.; ISLAM, K. R. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. **Soil & Tillage Research**, v. 131, p. 28-35, 2013.

BABUJIA, L. C.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BROOKES, P. C. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 2174-2181, 2010.

¹ Referencias de acordo com às normas da ABNT- NBR 6023/2002 (ABNT) - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 23 p. Disponível em: <<http://www.abntcolecao.com.br>> . Acesso em: 02 jul. 2015.

BAIS, H. P.; PARK, S. W.; WEIR, T. L.; CALLAWAY, R. M.; VIVANCO, J. M. How plants communicate using the underground information superhighway. **Trends Plant Science**, v. 9, p. 26-32, 2004.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Software AgroEstat** - Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2009.

BAREA, J. M.; POZO, M. J.; AZCÓN, R.; AZCÓN-AQUILAR, C. Microbial cooperation in the rhizosphere. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, p. 1761-1778, 2005.

BASTIDA, F.; KANDELER, E.; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. Long-term effect of municipal solid waste amendment on microbial abundance and humus-associated enzyme activities under semiarid conditions. **Microbial Ecology**, v. 55, p. 651-661, 2008.

BAUDOIN, E.; BENIZRI, E.; GUCKERT, A. Impact of artificial root exudates on the bacterial community structure in bulk soil and maize rhizosphere. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 35, p. 1183-1192, 2003.

BERTIN, C.; YANG, X. H.; WESTON, L. A. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. **Plant and Soil**, v. 256, p. 67-83, 2003.

BHATTACHARYYA, R.; KUNDU, S.; PRAKASH, V.; GUPTA, H. S. Sustainability under combined application of mineral and organic fertilizers in a rainfed soybean-wheat system of the Indian Himalayas. **European Journal of Agronomy**, v. 28, p. 33-46, 2008.

BODDEY, R.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H. P.; DENARDINS, J. E.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; ALVES, B. J. R.; URQUIGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, v. 16, p. 784-795, 2010.

BÖHME, L.; BÖHME, F. Soil microbiological and biochemical properties affected by plant growth and different long-term fertilization. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. 1-12, 2006.

BREULMANN, M.; SCHULZ, E.; WEIBHUHN, KAROLINE.; BUSCOT, F. Impact of the plant community composition on labile soil organic carbon, soil microbial activity and community structure in semi-natural grassland ecosystems of different productivity. **Plant and Soil**, v. 352, p. 253-265, 2012.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 17, p. 837-842, 1985.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, L. R.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CARBONETTO, B.; RASCOVAN, N.; ALVAREZ, R.; MENTABERRY, A.; VÁZQUES, M. P. Structure, Composition and metagenomic profile of soil microbiomes associated to agricultural land use and tillage systems in argentine pampas. **Plos One**, v. 9, p. 1-11, 2014.

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

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

CEDERLUND, H.; WESSÉN, E.; ENWALL, K. JONES, C. M. JUHANSON, J.; PELL, M.; PHILIPPOT, L.; HALLIN, S. Soil carbon quality and nitrogen fertilization structure bacterial communities with predictable responses of major bacterial phyla. **Applied Soil Ecology**, v. 84, p. 62-68, 2014.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1381-1396, 2007.

CHU, H.; LIN, X.; FUJII, T.; MORIMOTO, S.; YAGI, K.; HU, J.; ZHANG, J. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39, p. 2971-2976, 2007.

COLE, M. A. Lead inhibition of enzyme synthesis in soil. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 33, p. 262-268, 1977.

COUTINHO NETO, A. M.; COUTINHO, E. L. M.; ORIOLI JÚNIOR, V.; CORÁ, J. E.; SILVA, A. R. B.; SCATOLIN, M. Nitrogen fertilization management in no-tillage maize with different winter crops. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 1981-1988, 2013.

DAS, A.; LAL, R.; PATEL, D. P.; IDAPUGANTI, R. G.; LAYEK, J.; NGACHAN, S. V.; GHOSH, P. K.; BORDOLOI, J.; KUMAR, M. Effects of tillage and biomass on soil quality and productivity of lowland rice cultivation by small scale farmers in North Eastern India. **Soil & Tillage Research**, v. 143, p. 50-58, 2014.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 389-411.

DICK, R. P.; BREACKWELL, D. P.; TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (eds.) **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, 1996. p. 247-271. (SSSA Special Publication, 49).

DICK, R. P.; RASMUSSEN, P. E. KERLE, E. A. Influence of long-term residue management on soil enzyme activities in relation to soil chemical properties of a wheat-fallow system. **Biology and Fertility of Soils**, v. 6, p. 159-164, 1988.

DIVITO, G. A.; ROZAS, H. R. S.; ECHEVERRÍA, H. E.; STUDDERT, G. A.; WYNGAARD, N. Long term nitrogen fertilization: Soil property changes in an Argentinean Pampas soil under no tillage. **Soil & Tillage Research**, v. 114, p. 117-126, 2011.

DODOR, D. E.; TABATABAI, M. A. Amidohydrolases in soils as affected by cropping systems. **Applied Soil Ecology**, v. 24, p. 73-90, 2003.

DORAN, J.V.; SMITH, M. S. Organic matter management and utilisation of soil and fertilizer nutrients. **America Society of Agronomy**, v. 19, p. 53-72, 1987.

DUCROS, V. **Chromium metabolism in humans**. In: CANALI, S.; TITTARELLI, F.; SEQUI, P. (Eds), Chromium Environmental Issues. Milan: Ageli, 1997. p. 181-194.

EIVAZI, F.; BAYAN, M. R.; SCHMIDT. Select soil enzyme activities in the historic sanborn field as affected by long-term cropping systems. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, p. 2259-2275, 2003.

ELEFThERIADIS, A.; TURRIÓN, M. B. Soil microbiological properties affected by land use, management, and time since deforestations and crop establishment. **European Journal of Soil Biology**, v. 62, p. 138-144, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECÚRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed, Rio de Janeiro, 2006, 306 p.

ENWALL, K.; NYBERG, K.; BERTILSSON, S.; CEDERLUND, H.; STENSTRÖM, J.; HALLIN, S. Long-term impact of fertilization on activity and composition of bacterial communities and metabolic guilds in agricultural soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39, p. 106-115, 2007.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 6, p. 991-996, 1999.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; FERREIRA, E. A. B.; RAMOS, M. L. G. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um latossolo vermelho no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 551-562, 2007.

FOLLET, R.F.; SCHIMEL, D.S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. **Soil Science Society of America**, v.53, p. 1091-1096, 1989.

FRIEDEL, J. K.; MUNCH, J. C.; FISCHER, W. R. Soil microbial properties and the assessment of available soil organic matter in a haplic luvisol after several years of different cultivation and crop rotation. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 28, p. 479-488, 1996.

GAO, Q.; HASSELQUIST, N. J.; PALMROTH, S.; ZHENG, Z.; YOU, W. Short-term response of soil respiration to nitrogen fertilization in a subtropical evergreen forest. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 76, p. 297-300, 2014.

GARCIA, T. C; HERNANDEZ, T.; COSTA, F. Potential use of dehydrogenase activity as index of microbial activity in degraded soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 28, p.123-134, 1997.

GASTINE, A.; LORENZEN, S. M.; LEADLEY, P. W. No consistent effects of plant diversity on root biomass, soil biota and soil abiotic conditions in temperate grassland communities. **Applied Soil Ecology**, v. 24, p. 101-111, 2003.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 325-334, 2003.

GLOVER, J.D.; REGANOLD, J.P.; ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic and integrated apple orchards in Washington state. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.80, p. 29-45, 2000.

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **Soil Biology & Biochemistry**, v.34, p.93-102, 2002.

GRANT, F. R. Changes in soil organic matter under different tillage and rotations: mathematical modelling in ecosystems. **Soil Science Society of America**, v. 61, p. 1159-1175, 1997.

GUNDI, V. A. K. B.; VISWANATH, B.; CHANDRA, M. S.; KUMAR, V. N.; REDDY, B. R. Activities of cellulase and amylase in soils as influenced by insecticide interactions. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 68, p. 278-285. 2007.

HAUSINGER, R. P.; JABRI, E.; CARR, M. B.; KARPLUS, P. A. The crystal structure of urease from *Klebsiella aerogenes*. **Science**, v. 268, p. 998-1002, 1995.

HECKLER, J. C.; SALTON, J. C. **Palha: Fundamento do sistema plantio direto**. In: HECKLER, J. C.; SALTON, J. C. (Org). 7° Coleção sistema plantio direto. Dourados: Embrapa-CPAO, 2002. p. 1- 25. (7 Coleção plantio direto).

HEINZE, S.; RAUPP, J.; JOERGENSEN, R. G. Effects of fertilizer and spatial heterogeneity in soil pH on microbial biomass indices in a long-term field trial of organic agriculture. **Plant and Soil**, v. 328, p. 203-215, 2010.

HOFMAN, J.; DUSEK, L.; KLÁNOVÁ, J.; BEZECHLEBOVÁ, J.; HOLOUBEK, I. Monitoring microbial biomass and respiration in different soils from the Czech Republic - a summary of results. **Environment International**, v. 30, p. 19-30, 2004.

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D. S.; COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E. L. Interação entre microrganismos do solo, feijoeiro e milho em monocultura ou consórcio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 807-818, 1997.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BRANDÃO JÚNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, p. 288-296, 2009.

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

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, p. 408-416, 1998.

JAGADAMMA, S.; LAL, R.; HOEFT, R. G.; NAFZIGER, E. D., ADEE, E. A. Nitrogen fertilization and cropping systems effects on soil organic carbon and total nitrogen pools under chisel-plow tillage in Illinois. **Soil & Tillage Research**, v. 95, p. 348-356, 2007.

JANSSENS, I. A.; DIELEMAN, W.; LUYSSAERT, S.; SUBKE, J. A.; REICHSTEIN, M.; CEULEMANS, R.; CIAIS, P.; DOLMAN, A. J.; GRACE, J.; MATTEUCCI, G.; PAPALE, D.; PIAO, S. L.; SCHULZE, E. D.; TANG, J.; LAW, B. E. Reduction of forest soil respiration in response to nitrogen deposition. **Nature Geoscience**, v. 3, p. 315-322, 2010.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. **Soil Biochemistry**, v. 5, p. 415-471, 1981.

JOSHI, S. R.; SHARMA, G. D.; MISHRA, R. R. Microbial enzyme activities related to litter decomposition near a highway in a sub-tropical forest of North East India. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 25, p.1.763-1.770, 1993.

KANCHIKERIMATH, M.; SINGH, D. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize–wheat–cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 86, p. 155-162, 2001.

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

KLOSE, S.; TABATABAI, M. A. Urease activity of microbial biomass in soils as affected by cropping systems. **Biology and Fertility of Soils**, v. 31, p. 191-199, 2000.

KRÄMER, S.; GREEN, D. M. Acid and alkaline phosphatase dynamics and their relationship to soil microclimate in a semiarid woodland. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 32, p. 179-188, 2000.

LI, F.; LIU, M.; LI, Z.; JIANG, C.; HAN, F.; CHE, Y. Changes in soil microbial biomass and functional diversity with a nitrogen. **Applied Soil Ecology**, v. 64, p. 1-6, 2013.

LIMA, A. C. R.; BRUSSAARD, L.; TOTOLA, M. R.; HOOGMOED, W. B.; DE GOEDE, R. G. M. A function evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 64, p.194-200, 2013.

LIU, E.; YANG, C.; MEI, X.; HE, W.; BING, S, H.; DING, L.; LIU, Q.; LIU, S.; FAN, T. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. **Geoderma**, v. 158, p. 173-180, 2010.

LIU, Y.; YANG, H.; LI, X.; XING, Z. Effects of biological soil crusts on soil enzyme activities in revegetated areas of the Tengger Desert, China. **Applied Soil Ecology**, v. 80, p. 6-14, 2014.

LÓPEZ-GARRIDO, R.; DEURER, M.; MADEJÓN, E.; MURILLO, J. M.; MORENO, F. Tillage influence on biophysical soil properties: The example of a long-term tillage experiment under Mediterranean rainfed conditions in South Spain. **Soil & Tillage Research**, v. 118, p. 52-60, 2012.

LUPWAYI, N. Z.; CLAYTON, G. W ; O'DO O , J ; H E , ; TURKINGTON, T. K.; RICE, W. A. Decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 84, p. 403-410, 2004.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 257-263, 1999.

MARTIKAINEN, P. J. Nitrification in two coniferous forest soils after different fertilization treatments. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 16, p. 577-582, 1984.

McGARITY, J.W.; MYERS, M.G. A survey of urease activity in soils of Northern New South Wales. **Plant and Soil**, v. 27, p. 217-238, 1967.

- MELERO, S.; LÓPEZ-BELLIDO, J. R.; LÓPEZ-BELLIDO, L.; MUÑOZ ROMERO, V.; MORENO, F.; MURILLO, J. M. Long-term effect of tillage, rotation and nitrogen fertiliser on soil quality in a Mediterranean Vertisol. **Soil & Tillage Research**, v. 114, p. 97-107, 2011.
- MO, J.; ZHANG, W.; ZHU, W.; GUNDERSEN, P.; FANG, Y.; LI, D.; WANG, H. Nitrogen addition reduces soil respiration in a mature tropical forest in southern China. **Global Change Biology**, v. 14, p. 403-412, 2008.
- MOESKOPS, B.; BUCHAN, D.; SUKRISTIYONUBOWO.; NEVE, S.D.; GUSSEME, B. D.; WIDOWATI, L. R.; SETYORINI, D.; SLEUTEL, S. Soil quality indicators for intensive vegetable production systems in Java. **Ecological Indicators**, v. 18, p. 218- 226, 2012.
- MOLERO, S.; LÓPEZ-GARRIDO, R.; MURILLO, J. M. MORENO, F. Conservation tillage: Short- and long-term effects on soil carbon fractions and enzymatic activities under Mediterranean conditions. **Soil & Tillage Research**, v. 104, p. 292-298, 2009.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J, O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Ed. da UFLA, 2006.
- NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter: Methods of soil analysis. 3. ed. **Soil Science Society of America, American Society of Agronomy**, 1996, 961-1010 p.
- NEOGI, S.; BHATTACHARYYA, P.; ROY, K. S.; PANDA, B. B.; NAYAK, A. K.; RAO, K. S.; MANNA, M. C. Soil respiration, labile carbon pools, and enzyme activities as affected by tillage practices in a tropical rice–maize–cowpea cropping system. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, p. 4223-4236, 2014.
- NICOLARDOT, B.; RECOUS, S.; MARY, B. Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C/N ratio of the residues. **Plant and Soil**, v. 228, p. 83-103, 2001.
- NOHRSTEDT, H. O.; ARNEBRANT, K.; BAATH, E.; SODERSTROM, B. Changes in carbon content, respiration rate, ATP content, and microbial biomass in nitrogen-fertilized pine forest soils in Sweden. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 19, p. 323-328, 1989.
- PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; HUNT, H. W. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, v. 48, p. 147-163, 2000.
- PEACOCK, A. D.; MULLEN, M. D.; RINGELBERG, D. B.; TYLER, D. D.; HEDRICK, D. B.; GALE, P. M.; WHITE, D. C. Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 33, p. 1011-1019, 2001.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G. MC MANUS, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n.2, p. 137-144, 2005.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. p. 240-261.

REZENDE, L. A.; ASSIS, L. C.; NAHAS, E. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization in two soils amended with distillery yeast. **Bioresource Technology**, v. 94, 159-167, 2004.

RHOTON, F. E. Influence of Time on Soil Response to No-Till Practices. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 700-709, 2000.

RIBEIRO, P. E. A. **Implementação de análise de nitrogênio total em solo pelo método de Dumas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 26 p. (Embrapa Milho e Sorgo, Documentos, 115). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/880845>. Acesso em: 7 mar. 2015.

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

RIFAI, S. W.; MARKEWITZ, D.; BORDERS, B. Twenty years of intensive fertilization and competing vegetation suppression. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 713-723, 2010.

ROLDÁN, A.; CARAVACA, F.; HERNÁNDEZ; GARCCÍA, C.; SÁNCHEZ-BRITO, C.; VELÁSQUEZ, M.; TISCAREÑO, M. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). **Soil and Tillage research**, v. 72, p. 65-73, 2003.

SAHA, S.; PRAKASH, V.; KUNDU, S.; KUMAR, N.; MINA, B. L. Soil enzymatic activity as affected by long term application of farm yard manure and mineral fertilizer under a rainfed soybean–wheat system in N-W Himalaya. **European Journal of Soil Biology**, v. 44, p. 309-315, 2008.

SAID, A.; HAMIDO, K.; KPOMBLEKOU, A. Cover crop and tillage effects on soil enzyme activities following tomato. **Soil & Tillage Research**, v. 105, p. 269-274, 2009.

SAMBORSKA, A.; STEPNIEWSKA, Z.; STEPNIEWSKI, W. Influence of different oxidation states of chromium (VI, III) on soil urease activity. **Geoderma**, v. 122, p. 317-322, 2004.

SAMIE, N.; NOGHABI, K. A.; GHAREGOZLOO, Z.; ZAHIRI, H. S.; AHMADIAN, G.; SHARAFI, H.; BEHROZI, R.; VALI, H. Psychrophilic α -amilase from *Aeromonas veronii* NS07 isolated from farm soils. **Process Biochemistry**, v. 47, p. 1381-1387, 2012.

SAMPAIO, E. V. S. B.; OLIVEIRA, N. M. B.; NASCIMENTO, P. R. F. Eficiência da adubação orgânica com esterco bovino e com *Egeria densa*. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 31, p. 995-1002, 2007.

SANOMIYA, T.; NAHAS, E. Microrganismos produtores de hidrolases envolvidos nas transformações dos compostos do carbono e do nitrogênio do solo. **Ciência Rural**, v. 33, p. 835-842, 2003.

SCHLOTTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J. C. Indicators for evaluating soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.98, p. 255-262, 2003.

SHEN, W.; LIN, X.; SHI, W.; MIN, J.; GAO, N.; ZHANG, H.; YIN, R.; HE, X. Higher rates of nitrogen fertilization decrease soil enzyme activities, microbial functional diversity and nitrification capacity in a Chinese polytunnel greenhouse vegetable land. **Plant and Soil**, v. 337, 137-150, 2010.

SILVA, A. P.; BABUJIA, L. C.; FRANCHINI, J. C.; RALISCH, R.; HUNGRIA, M.; GUIMARÃES, M. F. Soil structure and its influence on microbial biomass in different soil and crop management systems. **Soil & Tillage Research**, v. 142, p. 42-53, 2014.

SILVA, A. P.; BABUJIA, L. C.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, R. A.; HUNGRIA, M. Microbial biomass under various soil-and crop-management systems in short- and long-term experiments in Brazil. **Field Crops Research**, v. 119, p. 20-26, 2010.

SILVA, M. S. **Créditos de nitrogênio, alterações nos atributos químicos do solo e nos componentes de produção da cultura do milho em função da aplicação de esterco bovino**. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal)). Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

SILVAN, N.; VASANDER, H.; KARSISTO, M.; LAINE, J. Microbial immobilization of added nitrogen and phosphorus in constructed wetland buffer. **Applied Soil Ecology**, v. 24, p.143-149, 2003.

SIQUEIRA NETO, M.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; CARDOSO, A. N.; DOUZET, J. M.; FELLER, C.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farm synchronic assessment. **Soil & Tillage Research**, v. 110, p. 187-195, 2010.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil & Tillage Research**, v. 79, p. 7-31, 2004.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 1350-1358, 1999.

SMOLANDER, A.; KURKA, A.; KITUNEN, V.; MALKONEN, E. Microbial biomass C and N, and respiratory activity in soil of repeatedly limed and N-and P-fertilized Norway spruce stands. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 26, p. 957-962, 1994.

SOMOGYI, M. Notes on sugar determination. **Journal of Biological Chemistry**, v.195, p.19-23, 1952.

TIWARI, S. C.; TIWARI, B. K.; MISHRA, R. R. Enzyme activities in soils: effects of leaching, ignition, autoclaving and fumigation. **Soil Biology and Biochemistry**, v.20, p.583-585, 1988.

TRESEDER, K. K. Nitrogen additions and microbial biomass: a meta-analysis of ecosystem studies. **Ecology Letters**, v. 11, p. 1111-1120, 2008.

VAN DEN BOSSCHE, A.; DE BOLLE, S.; DE NEVE, S.; HOFMAN, G. Effect of tillage intensity on N mineralization of different crop residues in a temperate climate. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p. 316-324, 2009.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 19, p.703-707, 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**, v.24, p.24-34, 2000.

VOET, D.; VOET, J. D.; PRATT, C. W. **Fundamentals of biochemistry: life at the molecular level**. 3 ed. Hoboken, 2008, 1081 p.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.

WALLENSTEIN, M. D.; MC NULTY, S.; FERNANDEZ, I. J.; BOGGS, J.; SCHLESINGER, W. H. Nitrogen fertilization decreases forest soil fungal and bacterial biomass in three long-term experiments. **Forest Ecology and Management**, v. 222, p. 459-468, 2006.

WANG, X. J.; GONG, Z. T. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. **Geoderma**, v. 81, p. 339-355, 1998.

WARDLE, D. A.; YEATES, G. W.; WILLIAMSON, W.; BONNER, K. I. The response of a three trophic level soil food web to the identity and diversity of plant species and functional groups. **Oikos**, v. 102, p. 45-56, 2003.

WHALEN, J. K.; CHANG, C. Macroaggregate characteristics in cultivated soils after 25 annual manure applications. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 1637-1647, 2002.

WILLEKENS, K.; VANDECASTEELE, B.; BUCHAN, D.; DE NEVE, S. Soil quality is positively affected by reduced tillage and compost in an intensive vegetable cropping system. **Applied Soil Ecology**, v. 82, p. 61-71, 2014.

YANG, J.; GAO, W.; REN, S. Long-term effects of combined application of chemical nitrogen with organic materials on crop yields, soil organic carbon and total nitrogen in fluvo-aquic soil. **Soil & Tillage Research**, v. 151, p. 67-74, 2015.

YU, W. T.; BI, M. L.; XU, Y. G.; ZHOU, H.; MA, Q.; JIANG, C. M. Microbial biomass and community composition in a Luvisol soil as influenced by long-term land use and fertilization. **Catena**, v. 107, p. 89-95, 2013.

ZHAO, J.; WANG, X.; WANG, X.; FU, S. Legume-soil interactions: legume addition enhances the complexity of the soil food web. **Plant and Soil**, v. 385, p. 273-286, 2014.

ZHAO, J.; ZENG, Z.; HE, X.; CHEN, H.; WANG, K. Effects of monoculture and mixed culture of grass and legume forage species on soil microbial community structure under different levels of nitrogen fertilization. **European Journal of Soil Biology**, v. 68, p. 61-68, 2015.

ZHENGCHAO, Z.; ZHOUTING, G.; ZHOUPING, S.; FUPING, Z. Effects of long-term repeated mineral and organic fertilizer applications on soil organic carbon and total nitrogen in a semi-arid cropland, **European Journal of Agronomy**, v. 45, p. 20-26, 2013.

ZHU, L.; LI, J.; TAO, B.; NAIJUAN, H. Effect of different fertilization modes on soil organic carbon sequestration in paddy fields in South China: A meta-analysis. **Ecological Indicators**, v. 53, p.144-153, 2015.