

VALDINEI ARAÚJO GONÇALVES

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO EM
SISTEMAS DE PLANTIO E SUCESSÕES DE CULTURAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINASGERAIS-BRASIL
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

G635c
2014

Gonçalves, Valdinei Araújo, 1987-
Características físicas e microbiológicas do solo em
sistemas de plantio e sucessões de culturas / Valdinei Araújo
Gonçalves. – Viçosa, MG, 2014.
x, 47f. : il. ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Lino Roberto Ferreira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Solos - Análise. 2. Milho - Cultivo. 3. Feijão - Cultivo.
4. Soja - Cultivo. 5. Trigo - Cultivo. 6. Plantio direto.
7. Plantio convencional. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em
Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 631.4

VALDINEI ARAÚJO GONÇALVES

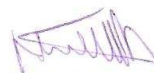
**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO EM
SISTEMAS DE PLANTIO E SUCESSÕES DE CULTURAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2014.



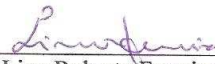
Aroldo Ferreira Lopes Machado



Edson Marcio Mattiello



Igor Rodrigues de Assis
(Coorientador)



Lino Roberto Ferreira
(Orientador)

“A persistência é o menor caminho do êxito.”

Charles Chaplin

Aos meus pais José Carlos Gonçalves
e Maria Aparecida de Araújo Gonçalves
e ao meu irmão Valdeci Araújo Gonçalves,
pessoas que estão sempre ao meu lado.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A DEUS e a NOSSA SENHORA APARECIDA, pela força.

Aos meus pais José Carlos e Maria Aparecida, pelo apoio em todos os momentos da minha vida.

Ao meu irmão Valdeci, pela amizade.

Aos Professores Lino Roberto Ferreira e Igor Rodrigues de Assis, pela orientação, pelas críticas e pela confiança.

Aos amigos e companheiros de trabalho Rafael, Douglas, Matheus, Gefferson, Guilherme e Miler, pela valorosa ajuda e pelo apoio na realização deste trabalho.

Aos colegas de graduação e pós-graduação do Laboratório de Manejo Integrado de Plantas Daninhas, pela ajuda e paciência.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Fitotecnia, pela qualidade do ensino.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

VALDINEI ARAÚJO GONÇALVES, filho de José Carlos Gonçalves e de Maria Aparecida de Araújo Gonçalves, nasceu em 1º de setembro de 1987, em Viçosa, Minas Gerais.

Em março de 2007, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, onde se graduou Engenheiro-Agrônomo em janeiro de 2012. Em março do mesmo ano, iniciou o curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, em nível de Mestrado, pela Universidade Federal de Viçosa (DFT/UFV), concentrando seus estudos na área de Manejo de Plantas Daninhas e Solos.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. LITERATURA CITADA.....	3
Características físicas do solo sob sistemas de plantio e sucessões de culturas ...	6
Resumo.....	6
Abstract	7
1. Introdução.....	8
2. Material e Métodos	9
3. Resultados e Discussão	11
4. Conclusão	21
5. Literatura Citada.....	21
Atividade microbiana no solo em sistemas de plantio e sucessões de culturas.....	26
Resumo	26
Abstract	27
1. Introdução.....	28
2. Material e Métodos	30
3. Resultados e Discussão	32
4. Conclusão.....	37
5. Literatura Citada	37
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
4. Anexos	43

Resumo

GONÇALVES, Valdinei Araújo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2014. **Características físicas e microbiológicas do solo em sistemas de plantio e sucessões de culturas.** Orientador: Lino Roberto Ferreira. Coorientador: Igor Rodrigues de Assis.

As características físicas e biológicas do solo vêm sendo muito utilizadas no monitoramento da sua qualidade, sendo de grande importância na determinação do quanto impactante determinado manejo de solo pode ser. Assim, objetivou avaliar as características físicas e microbiológicas do solo sob sistemas de plantio e sucessões de culturas por dez anos, em um Argissolo Vermelho-Amarelo. Foram avaliados os sistemas plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) e as sucessões de culturas milho-feijão (M-F) e soja-trigo (S-T). Para isso, utilizou-se um experimento de campo em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC) e, nas subparcelas, as sucessões de culturas, milho-feijão (M-F) e soja-trigo (S-T), no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, para características físicas do solo, e três repetições, para características microbiológicas do solo. Avaliaram-se a densidade do solo (D_s), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), porosidade total (Pt), teor de matéria orgânica nas profundidades de 0-5, 10-15 e 20-25 cm, resistência mecânica do solo à penetração (RP) até a profundidade de 60 cm, carbono da biomassa microbiana (CBM), taxa respiratória dos microrganismos no solo ($C-CO_2$), quociente metabólico (qCO_2), quociente microbiano ($qMIC$) e teor de carbono orgânico total (COT) nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-15 cm. O solo sob plantio direto, na profundidade de 0-5 cm, apresentou maior microporosidade e porosidade total do solo quando cultivada a sucessão M-F. A densidade do solo foi menor quando utilizado o plantio convencional, tanto na profundidade de 10-15 cm, quanto na de 20-25 cm. Maiores teores de matéria orgânica em superfície foram observados no plantio direto da sucessão M-F. Houve maior variação na RP entre 5 e 25 cm de profundidade, com maiores valores no plantio direto sucessão S-T e menor RP no plantio convencional sucessão M-F. A taxa respiratória dos microrganismos do solo diferiu entre as sucessões de culturas apenas na profundidade de 0-5 cm, sendo ela maior para a sucessão M-F. O solo sob plantio convencional apresentou, nas profundidades de 5-10 e 10-15 cm, maior teor de carbono

orgânico total que o do plantio direto. O $q\text{CO}_2$ foi maior para o solo com a sucessão M-F diferiu entre as sucessões de culturas na profundidade de 10-15 cm, tendo o solo com a sucessão M-F maior valor. As características físicas e microbiológicas do solo foram afetadas pelos sistemas de plantio e sucessões de culturas, após dez anos. O plantio direto proporcionou melhorias em algumas características físicas do solo, em relação ao plantio convencional, nos primeiros 5 cm de solo, depois de dez anos de uso. O cultivo da sucessão M-F resultou em maior porosidade no solo em superfície e em subsuperfície. As sucessões de culturas influenciaram a taxa respiratória dos microrganismos no solo apenas na menor profundidade. Maior atividade dos microrganismos no solo é observada quando empregada a sucessão milho-feijão.

ABSTRACT

GONÇALVES, Valdinei Araújo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2014. **Physical and microbiological characteristics of soil in crop succession and tillage systems.** Adviser: Lino Roberto Ferreira. Co-adviser: Igor Rodrigues de Assis.

The physical and microbiological soil properties have been widely used in monitoring its quality. This is of great importance in determining the impact of soil management, which are very important for determining how impactful a soil management may be, have been widely used for monitoring soil quality. Thus, the objective of this study was to evaluate the physical and microbiological soil characteristics under cultivation and crop successions systems for ten years, in an Ultisol. The no-tillage (PD) and conventional tillage (PC), and succession crops of corn-beans (M-F) and soybean-wheat (S-T) were evaluated. For this, a field experiment in a split plot design was used, where the plots were the no-tillage (PD) and tillage (PC) systems and the subplots were the crop successions, corn-bean (M-F) and soybeans -wheat (S-T), in a completely randomized design with four replications, to physical characteristics of the soil, and three replicates for soil microbiological characteristics. Bulk density (Ds), macroporosity (Mac), microporosity (Mic), total porosity (Pt), organic matter content (MO) in the depths of 0-5; 10-15 and 20-25 cm; soil penetration resistance (RP) to a depth of 60 cm, microbial biomass carbon (MBC), soil respiration rate (C-CO₂), metabolic quotient (qCO₂), microbial quotient (qMIC) and the content of total organic carbon (COT) in the depths of 0-5; 5-10 and 10-15 cm were all evaluated. Higher microporosity and total porosity of the soil was found at 0-5 cm depth in no-tillage system when C-B succession was cultivated. Bulk density was lower in both 10-15 cm and 20-25 cm depths when using the conventional tillage. Higher values of organic matter in the surface were found in the corn-bean succession in the no-tillage system. There was greater variation in the soil penetration resistance in the 5-25 cm depth, with higher RP at S-T succession in no-tillage system and reduced RP in the M-F succession in conventional tillage. Soil respiration rate differ between crop succession only in the 0-5 cm depth, which was greater for C-B succession. Conventional tillage presented higher amount of total organic carbon than no-tillage system at depths of 5-10 and 10-15 cm. The qCO₂ differed between crop successions at the depth of 10-15 cm, where the soil with the M-F succession presented the highest value. The physical and microbiological soil characteristics were affected by the tillage systems and crop

successions after ten years. The no-tillage system yielded improvements in some physical soil properties in comparison to conventional tillage in the first 5 cm of soil after ten years of use. The cultivation M-F succession resulted in higher porosity in the soil surface and in the subsurface. The crop successions affected soil respiration rate only in the lower depth. An increased activity of microorganisms in soil is found when using the bean-corn succession crop.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Juntamente com as características químicas, as características microbiológicas e físicas do solo têm sido muito utilizadas no monitoramento da sua qualidade, sendo de grande importância na verificação do quão impactante determinado sistema de plantio e uso do solo pode ser. Assim, conhecer e utilizar sistemas capazes de causar o mínimo impacto negativo ao solo e capazes de manter ou até mesmo melhorar a qualidade dos solos pode evitar sua degradação a curto e longo prazo (COSTA et al., 2003).

O plantio convencional (PC) é a forma de plantio mais tradicional e consiste no revolvimento superficial do solo. No PC, normalmente é realizada uma aração, seguida de uma gradagem, para quebra dos torrões originados durante o revolvimento, bem como para homogeneização da superfície do solo, de forma a facilitar o plantio. Contudo, esse sistema de plantio tem sido substituído pelo plantio direto (PD), principalmente, devido à grande desestruturação que o PC promove no solo e por ser um sistema em que o solo é mantido descoberto por longos períodos de tempo (ARGENTON, 2000).

O sistema plantio direto tem se destacado por ser considerado um sistema conservacionista, capaz de contribuir para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas intensivos, reduzindo a ocorrência de erosão no solo, pelo fato de permanecer coberto por restos culturais ou plantas vivas o ano inteiro (ALBURQUERQUE et al., 1995). Ainda, pode-se creditar ao PD a redução do uso de máquinas em relação ao PC e o controle de algumas plantas daninhas, como a tiririca (*Cyperus rotundus*) e a grama-seda (*Cynodon dactylon*) (SANTIAGO; ROSSETTO, 2007a).

A avaliação da qualidade física do solo é feita utilizando-se características que estejam direta ou indiretamente relacionadas à produção das culturas e à capacidade de o solo fornecer adequada aeração e quantidade de água para crescimento e expansão do sistema radicular, bem como fatores relacionados à sua capacidade de suportar as deformações (SINGER; EWING, 2000; IMHOFF, 2002).

As características físicas do solo mais estudadas são: densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, estabilidade de agregados, argila dispersa em água, intervalo hídrico ótimo, capacidade de retenção de água no solo e resistência à penetração. Essas características são de fácil determinação e baixo custo e permitem a comparação entre sistemas de plantio e uso do solo (BALBINO et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2004).

Arshad et al. (1996) e Reynolds et al. (2002) afirmam que solos bem manejados e com boas características físicas são capazes de manter o balanço equilibrado de ar e água, além da ciclagem de nutrientes no solo.

Identificar a atividade das comunidades microbianas no solo também tem sido uma ferramenta que possibilita verificar a qualidade do solo. A atividade microbiana no solo pode variar com o sistema de plantio, com o manejo empregado na condução das culturas, com a cultura utilizada, dentre outros fatores, tendo os microrganismos o importante papel de ciclagem de nutrientes e sua disponibilização para as plantas (BALOTA et al., 1998; SANTOS et al., 2005).

A atividade dos microrganismos no solo pode ser avaliada pela biomassa microbiana e taxa respiratória no solo, as quais fornecem índices capazes de permitir a avaliação da dinâmica da matéria orgânica do solo (GAMA-RODRIGUES et al., 1994; TÓTOLA; CHAER, 2002).

Essas variáveis têm diferido entre sistemas de plantio e sucessões de culturas, estando relacionadas, principalmente, com a forma de manejo dos restos culturais e com a condução da cultura, uma vez que maior aporte de substratos facilmente biodegradáveis serve de estímulo para as populações microbianas do solo (D'ANDRÉA et al., 2002; SILVA et al., 2010).

Acredita-se que o mínimo revolvimento do solo no plantio direto seja capaz de preservar o hábitat dos microrganismos de importância agrícola, como bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares, permitindo maior acúmulo de carbono pela biomassa microbiana e decréscimo no quociente metabólico (qCO_2) – uma variável estabelecida pela relação entre carbono da biomassa microbiana e taxa respiratória dos microrganismos no solo e que indica condição de equilíbrio do solo. Menor qCO_2 indica ambiente mais próximo da condição de equilíbrio (ANDERSON; DOMSCH, 1985; COLOZZI-FILHO; BALOTA, 1999).

Nesse contexto, objetivou-se no presente estudo avaliar as alterações físicas e microbiológicas do solo em função de sistemas de plantio e sucessões de culturas.

2. LITERATURACITADA

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 115-119, 1995.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biology Fertility Soils**, Berlin, v.1, n.1, p.81-89, 1985.

ARGENTON, J. **Propriedades físicas do solo em dois sistemas de cultivo com plantas de cobertura de verão intercalares à cultura do milho**. 2000. 97f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)–Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2000.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing of soil quality**. Madison: Soil Science Society of American/American Society of Agronomy, 1996. p.123-141. (SSSA Special Publication, 49).

BALBINO, L.C.; BRUAND, A.; COUSIN, I.; BROSSARD, M.; QUÉTIN, P.; GRIMALDI, M. Change in the hydraulic properties of a Brazilian clay Ferralsol on clearing for pasture. **Geoderma**, Amsterdam, v.120, n. 3/4, p.297-307, 2004.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n. 4, p.641-649, 1998.

COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E.L. Plantio direto: microrganismos e processos. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.; FAQUIN, V.; FURTINNI, A.E.; CARVALHO, J.G. (Ed.). **Soil fertility: soil biology and plant nutrition interrelationships**. Lavras: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. p.487-508.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.4, p.913-923, 2002.

GAMA-RODRIGUES, E.F. da; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. de; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana de carbono de solos de Itaguaí (RJ): comparação entre os métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.18, n.3, p.427-432, 1994.

IMHOFF, S. C. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. 2002. 104f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)—Escola Superior Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, 2002.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.327-336, 2004.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: Density and storage parameters. **Geoderma**, Amsterdam, v.110, n.1-2, p.131-146, 2002.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. **Cultivo mínimo**. Brasília, DF, 2007b. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeacucar/arvore/CONTAG01_8_5_22122006154841>.

SANTOS, J.B.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; VIVIAN, R.; COSTA, M.D.; SILVA, A.F. Atividade microbiana do solo após aplicação de herbicidas em sistemas de plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, Viçosa, v.23, n.4, p.683-691, 2005.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. DE S.; CURI, N.; ALOVISI, A.M. T. R. Biomassa e atividade microbiana em solo sobdiferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.5, p.1585-1592, 2010.

SINGER, M.; EWING, S. Soil quality. In: SUMNER, M. E. (Ed.) **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 271-298.

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

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO EM SISTEMAS DE PLANTIO E SUCESSÕES DE CULTURAS

RESUMO: O entendimento das características físicas dos solos é de grande importância para um sistema agrícola sustentável. Assim, o objetivo deste estudo foi verificar os efeitos do uso de sistemas de plantio e de sucessões de culturas por dez anos em algumas características físicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo. Para isso, utilizou-se um experimento de campo em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC) e, nas subparcelas, as sucessões de culturas, milho-feijão (M-F) e soja-trigo (S-T), no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Avaliaram-se, na linha e na entrelinha da soja e do milho, a densidade do solo (Ds), a macroporosidade (Mac), a microporosidade (Mic), a porosidade total (Pt), o teor de matéria orgânica (MO) em três profundidades (0-5, 10-15 e 20-25 cm) e a resistência mecânica do solo à penetração (RP) até a profundidade de 60 cm. O solo cultivado com a sucessão milho-feijão apresentou maior microporosidade e porosidade total nas profundidades de 0-5 e 20-25 cm. Entre os sistemas de plantio, houve maior microporosidade no solo sob PC, nas profundidades de 0-5 e 10-15 cm. Houve influência das sucessões de culturas na densidade do solo na profundidade de 20-25 cm, sendo essa menor no solo cultivado com a sucessão milho-feijão. Maior variação na resistência mecânica do solo à penetração foi observada na profundidade de 5-25 cm, com maiores valores no plantio direto da sucessão soja-trigo e menores no plantio convencional da sucessão milho-feijão. As características físicas do solo foram influenciadas pela adoção de diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas ao longo dos dez anos de uso. Em maiores profundidades, a sucessão milho-feijão proporcionou melhores condições físicas ao solo que a sucessão soja-trigo, utilizando o plantio direto. O plantio direto possibilitou maior microporosidade e porosidade total, na profundidade de 0-5 cm, que o plantio convencional.

Palavras-chave: plantio direto, plantio convencional, milho-feijão, soja-trigo.

SOIL PHYSICAL CHARACTERISTICS IN TILLAGE SYSTEMS AND CROP SUCCESSIONS

ABSTRACT: The understanding of the physical soils characteristics is of great importance for a sustainable agricultural system. This study aimed to evaluate the effects of the use of tillage systems and crop successions for ten years in some physical characteristics of an Ultisol. Thus, a field experiment in a split plot design was used, where the plots were the no-tillage (PD) and tillage (PC) systems and the subplots were the crop successions, corn-bean (M-F) and soybeans -wheat (S-T), in a completely randomized design with four replications. The following were evaluated in the row and between rows of the soybean and corn: bulk density (BD), macroporosity (Mac), microporosity (Mic), total porosity (Pt), soil organic matter (OM) in three depths: 0-5; 10-15 and 20-25 cm, and soil penetration resistance (RP) up to a depth of 60 cm. The soil cultivated with corn-bean succession showed higher microporosity and total porosity in the 0-5 and 20-25 cm depths. The conventional tillage system presented higher microporosity at the depths of 0-5 and 10-15 cm. Crop successions affected soil bulk density at the 20-25 cm depth, which was lower in soil cultivated with corn-bean succession. Greater variation in the penetration resistance of soil was found at the depth of 5-25 cm, with higher values in soybean-wheat succession no-tillage system and lower value in the conventional tillage of corn-bean succession. The soil physical properties were affected by the adoption of different tillage systems and crop successions over the ten years of use. At greater depths, the corn-bean succession provided better soil physical conditions than soybean-wheat succession, using the no-tillage system. The no-tillage system allowed greater microporosity and total porosity at the 0-5 cm depth than the conventional tillage.

Key-words: tillage, no-tillage, soybean-wheat, corn-bean.

1. INTRODUÇÃO

O correto manejo e preparo do solo pode contribuir para a manutenção ou melhoria de suas características físicas, porém, quando realizado de maneira incorreta, pode haver prejuízo à sua estrutura física, comprometendo diretamente o estabelecimento e desenvolvimento das culturas (COSTA et al., 2003).

O plantio convencional (PC – arado mais grade niveladora), devido à sua característica de intensa mobilização e desestruturação do solo, tem sido substituído por sistemas alternativos com características de manutenção e/ou melhoria das propriedades físicas do solo. Entre os sistemas conservacionistas, o plantio direto (PD) tem tido maior destaque (STONE; SILVEIRA, 2001).

No PD, a mobilização do solo é mínima, ocorrendo apenas na linha de plantio, preservando, assim, a estrutura do solo (FUENTES LLANILLO et al., 2006). No entanto, a não mobilização do solo pode provocar, com o tempo, alterações em algumas características físicas, como aumento nos valores de densidade e resistência à penetração e diminuição nos valores de macroporosidade e porosidade total do solo. Essas alterações ocorrem principalmente em camadas superficiais, mas também podem ser observadas em camadas subsuperficiais.

Tormena et al. (2004) observaram aumento nos valores de densidade e resistência à penetração e diminuição no valor de poros totais em camadas superficiais do solo submetido ao sistema PD, em relação ao observado no PC, sendo a principal causa dessas alterações a reduzida mobilização do solo. Além disso, esses autores afirmam que essas alterações podem dificultar o estabelecimento e desenvolvimento das culturas, em razão da possibilidade de comprometerem a aeração e a circulação da água no solo.

No entanto, acredita-se que a manutenção do plantio direto em mesma área por vários anos seja capaz de minimizar esses efeitos negativos, tornando os valores próximos aos observados no PC, devido à existência de algumas vantagens do sistema PD, como a manutenção da cobertura vegetal na superfície do solo e a sucessão de culturas – premissas consideradas básicas para que o sistema possa ser considerado plantio direto (PEDROTTI et al., 2001; SILVA et al., 2008).

A sucessão de culturas é definida como o plantio de diferentes espécies com diferentes sistemas radiculares na mesma área em estações do ano distintas. O uso de

diferentes espécies na mesma área pode causar alterações nas propriedades físicas do solo, sendo a intensidade dessas alterações dependente da espécie cultivada, do tempo de duração do cultivo e do número de cultivos realizados durante o ano, conforme descrito por Stone e Silveira (2001).

Silveira Neto et al. (2006) observaram efeitos significativos de diferentes rotações de culturas e diferentes sistemas de plantio nas características físicas do solo e concluíram que culturas pertencentes a famílias botânicas diferentes, principalmente no PD, podem alterar de maneira distinta as características físicas do solo. Contudo, estudos sobre o efeito de sucessões de culturas em algumas características físicas do solo são ainda bastante escassos.

O objetivo deste trabalho foi verificar os efeitos do uso, por dez anos, de sistemas de plantio e de sucessões de culturas em algumas características físicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido a partir de um experimento de dez anos, implantado em 2003 em Viçosa-MG. A área está localizada a uma altitude de aproximadamente 650 m, com coordenadas geográficas de 20°45'54'' de latitude sul e 45°52'54'' de longitude oeste. O clima, segundo classificação de Köppen (1938), é do tipo Cwa, caracterizado por verão quente e chuvoso e inverno seco. O solo é um Argissolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2013), que apresenta, na camada de 0-25 cm, 257 g kg⁻¹ de areia, 174 g kg⁻¹ de silte e 569 g kg⁻¹ de argila.

O experimento foi implantado em parcelas subdivididas, tendo nas parcelas dois sistemas de plantio, direto (PD) e convencional (PC), e nas subparcelas duas sucessões de culturas (milho-feijão – M-F e soja-trigo – S-T), em um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. As parcelas mediam 25 m², e as subparcelas, 12,5 m². A área era mantida sob sistema de irrigação por aspersão; a semeadura do milho e da soja foi realizada no verão, e a do feijão e do trigo, no inverno.

Na área de plantio direto eram aplicados herbicidas dessecantes, para eliminação da vegetação presente; na de plantio convencional, realizava-se o revolvimento do solo com um arado de discos, seguido de uma gradagem, para a quebra dos torrões e homogeneização da superfície do solo. A semeadura das culturas durante todo o período do experimento foi feita com uma semeadora da marca Semeato 1113, tanto no plantio

direto quanto no plantio convencional. O manejo pós-emergente das plantas daninhas nas culturas era realizado por meio da aplicação de herbicidas, e a colheita, feita conforme a necessidade e exigência de cada cultura.

Amostras de solo com estrutura indeformada foram coletadas nas profundidades de 0-5, 10-15 e 20-25 cm, na linha e na entrelinha das culturas de soja e milho, antes do preparo para o plantio das culturas de inverno, em abril de 2013. Para determinação das propriedades físicas, densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (Mic) e macroporosidade (Mac), as amostras foram coletadas com auxílio de um amostrador tipo Uhland e anel volumétrico de inox (5 cm de diâmetro e 5 cm de altura).

No laboratório, as amostras foram devidamente preparadas e colocadas para saturar em bandeja com água até dois terços da altura correspondente à altura do anel, durante 48 horas. Após saturadas, as amostras foram drenadas na tensão equivalente a 6kPa, em mesa de tensão, por 72 horas, para determinação da microporosidade (EMBRAPA, 2011). Em seguida, as amostras foram levadas à estufa a 105 °C durante 48 horas, para obtenção da massa de solo seco e posterior determinação da densidade do solo. A densidade de partículas (Dp) foi obtida com a amostra do anel, após seca e destorroada, pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 2011). A Pt foi determinada pela expressão $Pt = 1 - Ds/Dp$, conforme proposto por Kiehl (1979), e a Mac, obtida pela diferença entre Pt e Mic.

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi determinada na linha e na entrelinha de plantio até a profundidade de 60 cm, tomando-se 15 pontos amostrais por subparcela, utilizando-se um penetrômetro digital, PenetroLOG, modelo PLG1020 Falker, com ponta cônica de 30° (LANZANOVA et al., 2007). Não houve necessidade de correção dos valores de RP, uma vez que se constatou a homogeneidade da umidade do solo no momento da avaliação.

A matéria orgânica do solo (MO) foi determinada utilizando a metodologia proposta por Walkley-Black (1934), em que se utiliza solução de dicromato ($Cr_2O_7^{2-}$) e considera-se que todo carbono do solo esteja em estado de oxidação zero.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, verificando-se efeito significativo de sistema de plantio e sucessão de culturas pelo teste F a 5% de significância. Quando houve efeito significativo da interação, o desdobramento da sucessão de culturas dentro de cada sistema de plantio foi comparado pelo teste de Tukey a 5% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo

Na linha de plantio, não houve efeito significativo dos sistemas de plantio direto e plantio convencional sobre as características físicas, microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo, nas profundidades de 0-5 e 20-25 cm. Na entre linha de plantio, os sistemas, PD e PC, diferiram quanto ao volume total de poros na profundidade de 20-25 cm, sendo ele maior no solo sob plantio convencional. O resultado de porosidade total na entrelinha foi semelhante ao encontrado por Silveira et al. (2008), que associaram isso, principalmente, à ausência de mobilização do solo e ao tráfego cumulativo das máquinas no PD.

Entre 10 e 15 cm de profundidade houve, tanto na linha quanto na entrelinha, maior microporosidade no solo sob plantio convencional (Figura 1a, b), fato que provavelmente se deve ao revolvimento do solo, quebrando as camadas compactadas deste, o que deu origem aos poros. Bertol et al. (2004) e Tormena et al. (2004), comparando o efeito de sistemas de plantio PD e PC sobre a microporosidade do solo, não observaram diferença entre eles na profundidade de 0,10-0,15 m, o que discorda do observado no presente estudo. Esses autores consideram a Mic uma variável pouco influenciada pelos métodos de preparo de solo, porém ressaltam que o aumento da microporosidade em camadas subsuperficiais do solo, independentemente se na linha ou na entre linha, sobretudo em sistemas de PC, pode ser vantajoso, por favorecer a ocorrência do fenômeno da capilaridade, facilitando o movimento da água e nutrientes no perfil do solo.

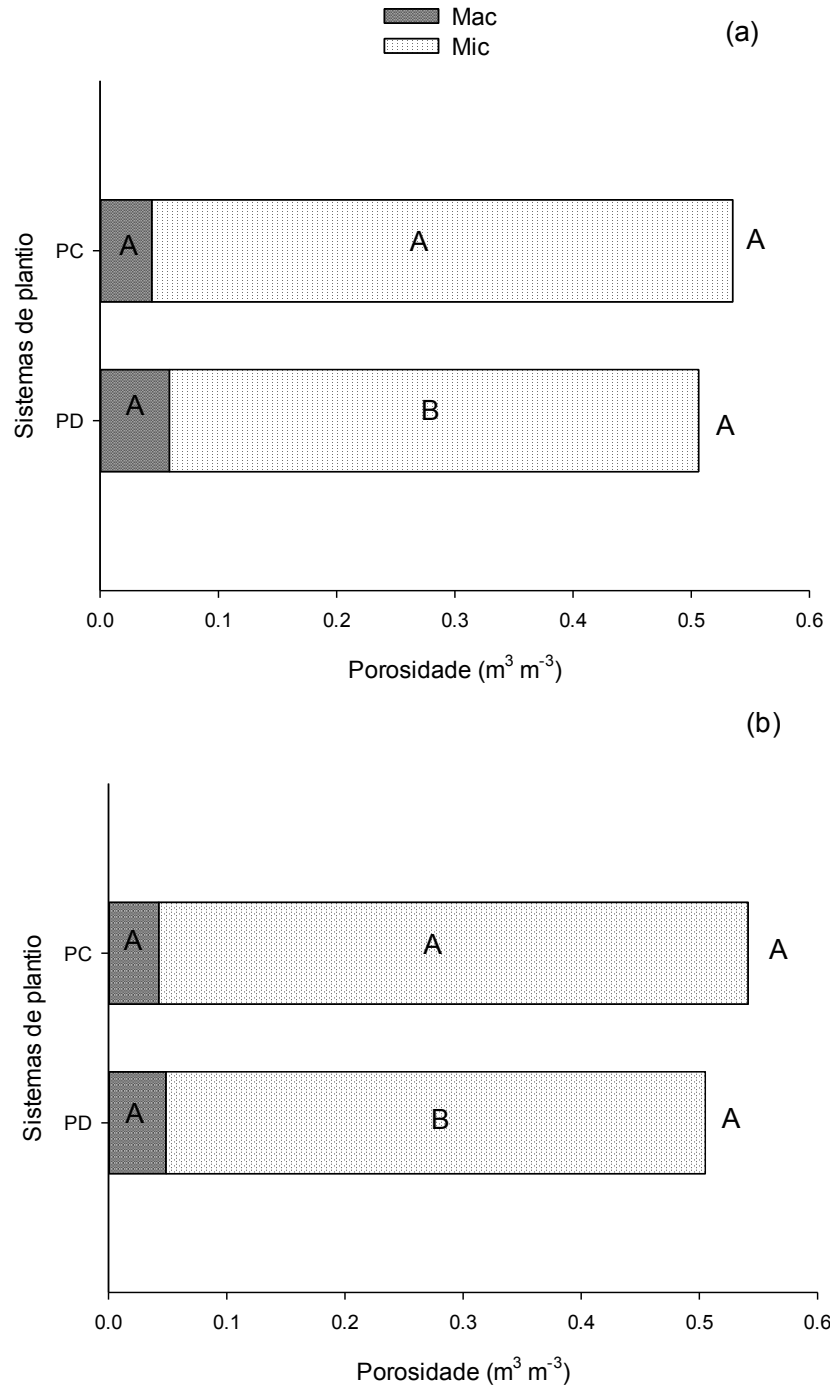


Figura 1 - Microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac) e porosidade total do solo (Mic + Mac), na linha (a) e na entre linha (b) de plantio, em função de sistemas de plantio (direto - PD e convencional - PC), na profundidade de 10-15 cm. Sistemas de plantio seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F a 5 % de significância.

Para as sucessões de culturas no plantio direto, verificou-se, tanto na linha quanto na entre linha, que a microporosidade e a porosidade total do solo foram, na

profundidade de 0-5 cm, maiores quando cultivada a sucessão M-F, sendo os valores (10,33 e 12,13 %, respectivamente) superiores aos da sucessão S-T (Figura 2a, b). Lanzaova et al. (2007) afirmam que isso se deve à massa de raízes por volume de solo, ou seja, maior densidade radicular, bem como melhor distribuição espacial das raízes das culturas do milho e do feijão, em relação às culturas da soja e do trigo, no perfil do solo. Assim, com a decomposição do maior volume de raízes na sucessão M-F, poderá ocorrer maior volume de poros (WUTKE et al., 2000).

Na entre linha do plantio convencional também houve diferença significativa na microporosidade e na porosidade total do solo entre as sucessões de culturas na profundidade de 0-5 cm, o que não ocorreu na linha de plantio. Os maiores valores foram encontrados no solo com a sucessão S-T (Figura 2b). No entanto, Wutke et al. (2000) destacam que o revolvimento do solo no plantio convencional pode mascarar a influência das raízes das plantas em algumas características físicas do solo, pelo fato de o efeito do revolvimento do solo ser maior que o efeito das raízes sobre as características físicas do solo, nesse caso.

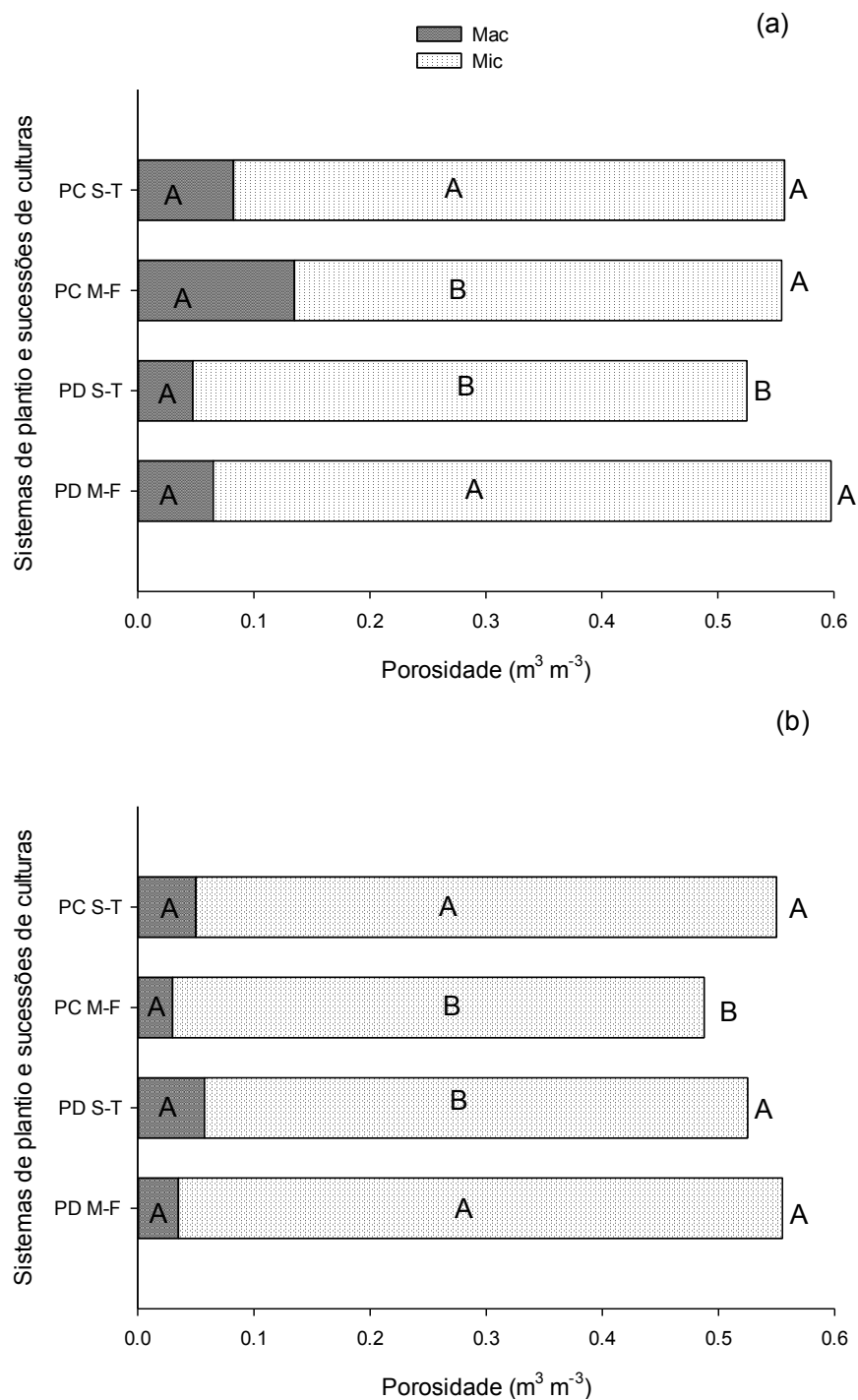


Figura 2 - Microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac) e porosidade total do solo (Mic + Mac), na linha (a) e na entre linha (b) de plantio, em função dos sistemas de plantio (direto - PD e convencional - PC) e das sucessões de culturas (milho-feijão – M-F e soja-trigo – S-T), na profundidade de 0-0,05 m. No mesmo sistema de plantio, letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

3.2. Matéria orgânica do solo

Entre os sistemas de plantio, observou-se, de maneira geral, na profundidade de 0-5 cm que não houve diferença no teor de matéria orgânica. Todavia, nas profundidades de 10-15 e 20-25 cm, o plantio convencional proporcionou maior teor de matéria orgânica no solo. Esse maior teor de matéria orgânica em camadas subsuperficiais no plantio convencional se deve em parte à incorporação dos restos culturais pela grade aradora ou arado de discos durante o preparo do solo (BEUTLER et al., 2001).

A sucessão M-F, na entre linha de plantio no sistema convencional, proporcionou maior teor de matéria orgânica que a sucessão S-T (Tabela 1), nas três profundidades avaliadas. De acordo com Bertol et al. (2004), isso é compreensível, pois a quantidade de massa de parte aérea produzida pelo milho e pelo feijão é maior que a quantidade de massa de parte aérea produzida pela soja e pelo trigo, uma vez que será essa parte aérea convertida em matéria orgânica.

A sucessão milho-feijão na linha de plantio, na profundidade de 0-5 cm, proporcionou, no plantio direto, maior teor de matéria orgânica (Tabela 1). Esse resultado também é explicado pela maior produção de parte aérea do milho e do feijão e também pelo fato de não haver incorporação dos restos culturais ao solo.

Tabela 1 - Valores médios de matéria orgânica na entre linha de plantio, em função de sistemas de plantio (direto - PD e convencional - PC) e sucessões de culturas (milho-feijão – M-F e soja-trigo – S-T), em três profundidades

Profundidade	Sistemas de plantio			
	PD		PC	
	M-F	S-T	M-F	S-T
	dag kg ⁻¹			
0-5	4,29 A	3,45 B	3,14B	3,97 A
10-15	2,81 A	3,39 A	2,05 B	3,87 A
20-25	2,56 A	2,94 A	1,70 B	3,55 A

Medias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si, sob o mesmo sistema de plantio, pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

Na linha de plantio, não houve diferença no teor de matéria orgânica entre as sucessões de culturas na profundidade de 0-5 cm, tanto sob plantio direto quanto sob

plântio convencional. Nas profundidades de 10-15 e 20-25 cm, o teor de matéria orgânica foi maior no solo cultivado com a sucessão soja-trigo, em ambos os sistemas de plântio (Tabela 2). Maior acúmulo de matéria orgânica em camadas subsuperficiais do solo, cultivado com sucessões ou rotações de culturas, pode promover com o passar do tempo melhorias na estruturação do solo, por favorecer diretamente melhorias em algumas características físicas do solo, como a porosidade e a densidade (SPERA et al., 2009).

Tabela 2 - Valores médios de matéria orgânica na linha de plântio, em função de sistemas de plântio (direto - PD e convencional - PC) e sucessões de culturas (milho-feijão – M-F e soja-trigo – S-T), em três profundidades

Profundidade	Sistemas de plântio			
	PD		PC	
	M-F	S-T	M-F	S-T
	dag kg ⁻¹			
0-5	3,95 A	3,71 A	3,74 A	3,71 A
10-15	2,94 B	3,45 A	1,98 B	3,68 A
20-25	2,72 B	3,23A	1,92 B	3,52 A

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si, sob o mesmo sistema de plântio, pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

3.3. Densidade do solo

Houve efeito significativo dos sistemas de plântio sobre a densidade do solo na linha e na entre linha de plântio para as três profundidades avaliadas. Os maiores valores foram encontrados no solo sob plântio direto nas três profundidades (Figura 3a, b). A maior Ds no solo sob plântio direto pode estar associada ao tráfego cumulativo das máquinas na superfície com baixa quantidade de resíduos vegetais, bem como ao manejo do solo realizado com níveis elevados de umidade (TORMENA et al., 1998 b). Contudo, Stone e Silveira (2001) afirmam que pode haver diminuição da densidade do solo com o passar dos anos no PD, tornando-se equivalente à observada no solo sob PC; isso pode ocorrer devido ao acúmulo de matéria orgânica na camada superficial do solo em sistema de plântio direto.

Entre as sucessões de culturas no plantio direto, tanto na linha quanto na entre linha de plantio, observou-se que a densidade do solo, na profundidade de 0-5 cm, foi maior com o cultivo da sucessão soja-trigo (Figura 3a, b). No plantio convencional, não houve diferença significativa na densidade do solo entre as sucessões de culturas, nessa mesma profundidade, na entre linha. Todavia, na linha de plantio a sucessão soja-trigo proporcionou menor densidade do solo. A menor densidade do solo cultivado com a sucessão milho-feijão no plantio direto pode ser atribuída ao maior volume de raízes produzidas por essas culturas. A decomposição das raízes após o ciclo das culturas originou poros que contribuem para a redução da D_s ; assim, culturas com mais raiz originam mais poros no solo, reduzindo o valor da densidade (TORRES et al., 1993). Sob plantio convencional, o efeito das raízes na densidade do solo é mais difícil de ser observado; isso ocorre principalmente em virtude de o revolvimento do solo mascarar o efeito das raízes sobre algumas características físicas do solo (WUTKE et al., 2000).

Nas profundidades de 10-15 e 20-25 cm, verificou-se, tanto sob plantio direto quanto sob plantio convencional, que o cultivo da sucessão milho-feijão proporciona maior densidade do solo que a sucessão soja-trigo (Figura 3a, b). Oliveira et al. (2004) afirmam que pequeno incremento na densidade do solo em camadas subsuperficiais, tanto em sistema de plantio direto quanto no de plantio convencional, pode, na maioria das vezes, não afetar o desenvolvimento do sistema radicular das culturas, possibilitando um bom desempenho.

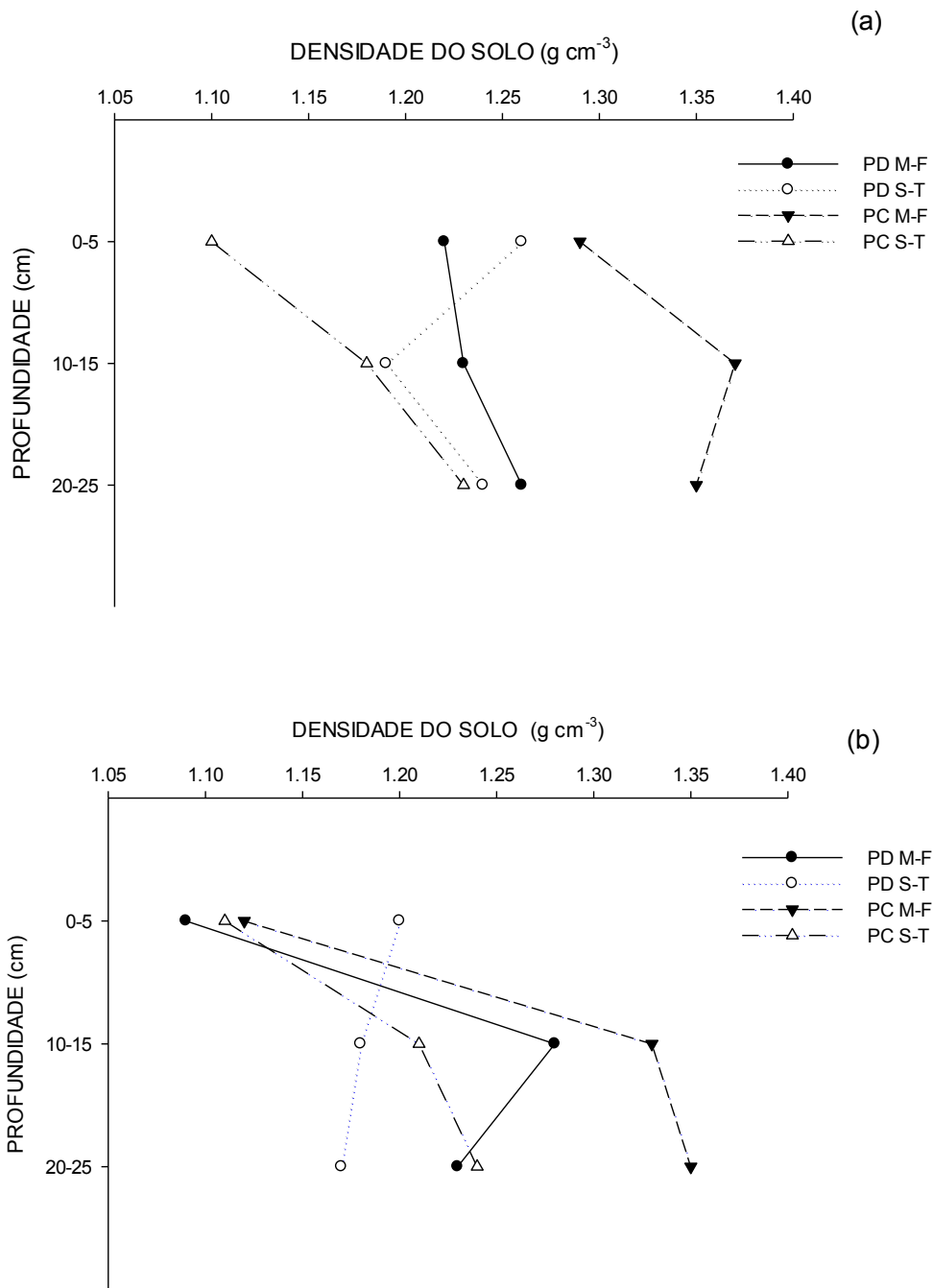


Figura 3 - Densidade do solo (D_s) na linha (a) e na entre linha (b) de plantio, em função dos sistemas de plantio (direto - PD e convencional - PC) e das sucessões de culturas (milho-feijão - M-F e soja-trigo - S-T).

3.4. Resistência mecânica do solo à penetração

As maiores variações na resistência mecânica do solo à penetração foram observadas na camada de 5-25 cm de profundidade do solo – região onde se concentra o maior volume de raízes das plantas (Figura 4a, b).

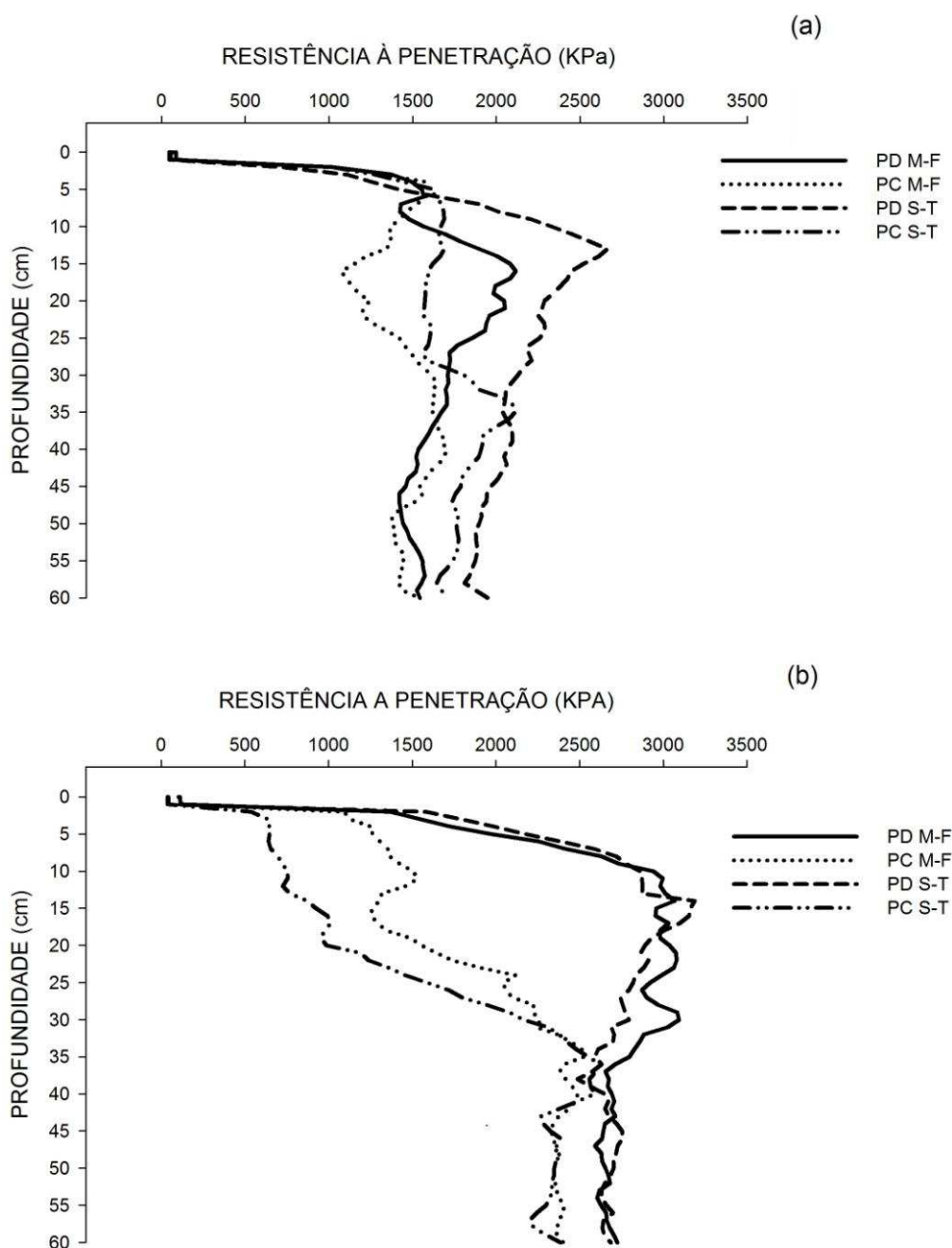


Figura 4 - Resistência mecânica do solo à penetração na linha (a) e na entre linha (b) de plantio, em função dos sistemas de plantio (direto - PD e convencional - PC) e das sucessões de culturas (milho-feijão - M-F e soja-trigo - S-T), até a profundidade de 60 cm.

Na profundidade de 0-25 cm, os valores de RP, tanto na linha quanto na entre linha, foram maiores no sistema PD (Figura 4a, b): superiores a 2.000 KPa – valor considerado crítico para o estabelecimento e desenvolvimento da maioria das culturas anuais, conforme proposto por Klein et al. (1998). Resultados semelhantes foram observados por Tormena et al. (2004). Estes autores associaram isso ao não revolvimento do solo e ao tráfego cumulativo de máquinas na superfície do solo. Entretanto, em algumas situações, altos valores de RP no solo sob PD podem não comprometer o desenvolvimento das culturas, pois, sob plantio direto por vários anos, o solo pode apresentar maior continuidade de poros e maior atividade microbiana – fatores que contribuem para o bom desenvolvimento radicular (SILVA et al., 2000).

No sistema de plantio convencional não foram observados, na linha e na entre linha, valores de RP considerados críticos na profundidade de 0-25 cm de (Figura 4a, b), o que pode ser atribuído ao revolvimento periódico do solo, durante o seu preparo para implantação das culturas. No entanto, vale ressaltar que essa aparente vantagem pode ser inexpressiva, em virtude de o revolvimento expor o solo a condições que favoreçam a erosão e a perda de matéria orgânica (CARDOSO et al., 1992; FIDALSKI, 1997).

Abaixo de 25 cm de profundidade, houve pequeno incremento da RP no solo sob PC (Figura 4a, b). No entanto, isso não indica a formação de uma camada compactada conhecida como pé-de-grade, a qual é formada pelo preparo contínuo do solo na mesma profundidade (COSTA et al., 2006), sobretudo porque a maioria dos valores é inferior a 2.000 KPa.

Entre as sucessões de culturas, verificaram-se no PD maiores valores de RP na linha de plantio da sucessão S-T. Na entre linha, não houve diferença na RP entre as sucessões de culturas sob plantio direto, na profundidade entre 5 e 25 cm (Figura 4a, b) – semelhante ao observado por Stone e Silveira (2001). Segundo esses autores, a maior RP no solo sob plantio direto da sucessão S-T se deve à menor produção de biomassa de parte aérea e de raízes das culturas de soja e trigo em relação ao milho, uma vez que a cobertura do solo no PD desempenha o importante papel de amortecedor contra o impacto das rodas do trator na superfície do solo (SILVEIRA et al., 2008).

No preparo convencional, houve na linha de plantio menor resistência à penetração no solo cultivado com a sucessão milho-feijão (Figura 4a) e, na entre linha, menor RP no solo cultivado com a sucessão soja-trigo. No entanto, deve-se ter cuidado ao afirmar que o uso de determinada sucessão de culturas pode trazer mais vantagem sobre a RP em relação a outra quando utilizado o plantio convencional no PC, pois o

revolvimento do solo faz com haja uma nova reorganização das camadas de solo após a sua movimentação, e a reorganização destas irá originar mais ou menos poros, os quais são responsáveis pelo aumento ou diminuição da RP (CUNHA et al., 2002).

4. CONCLUSÕES

1. As características físicas do solo foram influenciadas pela adoção de diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas ao longo dos dez anos de uso.

2. Em maiores profundidades, a sucessão milho-feijão proporcionou melhores condições físicas ao solo que a sucessão soja-trigo, quando utilizado o sistema plantio direto.

3. O plantio direto possibilitou maior microporosidade e porosidade total na profundidade de 0-5 cm que o plantio convencional.

5. LITERATURA CITADA

ALMEIDA, V.P.; ALVES, M.C.; SILVA, E.C.; OLIVEIRA, S.A. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.1227-1237, 2008.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.155-163, 2004.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 129-136, 2001.

CARDOSO, A.; POTTER, R.; DEDECEK, R.A. Estudo comparativo da degradação de solos pelo uso agrícola no Noroeste do Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.2, p.349-353, 1992.

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

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE J. A.; BAYER, C. FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

CUNHA, J. P. A. R. da.; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.10, n.1-4, jan./dez. 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA– EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2013. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA TRIGO. **Boletim de desenvolvimento online**. Passo Fundo, 2009.

FIDALSKI, J. Fertilidade do solo sob pastagens, lavouras anuais e permanentes na região Noroeste do Paraná. **Revista Unimar**, Maringá, v. 19, p. 853-861, 1997.

GROHMANN, F. Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, 19:319-328,1960.

KIEHL, E.J. Manual de edafologia. Relações solo-planta. **Ceres**, São Paulo, 1979. 262p.

KLEIN, E. L. Aspectos geoquímicos, geocronológicos e estudo dos fluidos associados às mineralizações escauríferas dos garimpos Caxias e Areal, Craton de São Luís, noroeste do Maranhão. Unpubl. M.Sc. thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998. 189 p.

KOPPEN, W. das. **Geographische system der klimate. Handbuch de klimatologie.** Berlim: Bortraeger, 1938.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. da S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.5, p.1131-1140, 2007.

LLANILLO, R. F.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. de F.; FERREIRA, R. R. M. Evolution of physical properties of soils according to tillage systems on annual crops. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 205-220, 2006.

OLIVEIRA, G. C. de; DIAS JUNIOR, M. S.; RESK, D. V. S.; CURTI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004.

PASQUALETTO, A. **Sucessão de culturas como alternativa de produção em plantio direto no Cerrado.** 1999. 135 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; DIASJUNIOR, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.521-529, 2001.

RESENDE, P.C.S. **Resistência mecânica e sua variação com a umidade e com a densidade do solo em Latossolo Vermelho-Escuro do Cerrado**. 1995. 64 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Estadual Paulista- Faculdade de Ciências Agrárias, Botucatu, 1995.

SILVA, M. G. da; ARF, O.; ALVES, M. C.; BUZETTI, S. Sucessão de culturas e sua influência nas propriedades físicas do solo e na produtividade do feijoeiro de inverno irrigado, em diferentes sistemas de manejo do solo. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.335-347, 2008.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.2, p.239-249, 2000.

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. Profundidade de amostragem do solo sob plantio direto para avaliação de características químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 157-162, 2002.

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F.; JÚNIOR, J. A.; SILVA, J. G. da. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 53-59, 2008.

SILVEIRA NETO, A. N. da; SILVEIRA, P, M. da; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 29-35, 2006.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 33 p.129-136, 2009.

STONE, L. F.; SILVEIRA,P. M. R. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.395-401, 2001.

TORMENA, A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A.C. A.; ARAÚJO, M. A.; PINTRO, J. C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico Cássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.65-71, 2004.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciado por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n.2, p.301-309, 1998b.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; GALERANI, P.R. **Manejo do solo para a cultura da soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1993. 71 p. (EMBRAPA-CNPSO. Circular técnica, 12).

WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G. M. B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n.3, p.621-633, 2000.

ATIVIDADE MICROBIANA NO SOLO EM SISTEMAS DE PLANTIO E SUCESSÕES DE CULTURAS

RESUMO: A atividade da microbiota do solo é de grande importância para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas. Assim, objetivou-se avaliar a atividade dos microrganismos em um Argissolo Vermelho-Amarelo, submetido a sistemas de plantio e sucessões de culturas, por dez anos. O experimento foi instalado em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC) e, nas subparcelas, as sucessões de culturas milho-feijão (M-F) e soja-trigo (S-T), em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Foram retiradas amostras de solo, na entrelinha das culturas de milho e soja, após a colheita dos grãos, em três profundidades: 0-5, 5-10 e 10-15 cm, para determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM), da taxa respiratória dos microrganismos no solo ($C-CO_2$), do quociente metabólico (qCO_2), do quociente microbiano ($qMIC$) e do carbono orgânico total do solo (COT). Houve variação na taxa respiratória dos microrganismos do solo entre as sucessões de culturas apenas na profundidade de 0-5 cm, com maior valor na sucessão milho-feijão. Entre os sistemas de plantio, observou-se diferença na taxa respiratória dos microrganismos na profundidade de 10-15 cm, com maiores valores no plantio convencional. O carbono orgânico total diferiu entre os sistemas de plantio nas profundidades de 5-10 e 10-15 cm, com maiores valores no solo sob plantio convencional. Na profundidade de 10-15 cm, o $qMIC$ foi menor no solo sob plantio convencional, e o qCO_2 , maior no solo com a sucessão milho-feijão. Não houve diferença no carbono da biomassa microbiana entre sistemas de plantio e sucessões de culturas em nenhuma das profundidades avaliadas, após dez anos de uso. As sucessões de culturas influenciaram a taxa respiratória dos microrganismos no solo apenas na menor profundidade avaliada. O cultivo da sucessão soja-trigo possibilitou maior atividade dos microrganismos no solo em relação ao cultivo da sucessão milho-feijão.

Palavras-chave: plantio direto, plantio convencional, milho-feijão, soja-trigo.

SOIL MICROBIAL ACTIVITY IN TILLAGE SYSTEMS AND CROP SUCCESSIONS

ABSTRACT: Soil microbial activity is very important for establishment and development of the plants. Therefore, this study aimed to evaluate the activity of microorganisms in an Ultisol under tillage systems and crop successions for over ten years. The experiment was set up in a split-plot design in which the plots were no-tillage (PD) and tillage (PC) systems and the sub-plots were corn-bean (M-F) and soybean-wheat (S-T) crop successions in a completely randomized design with four replicates. Soil samples were collected between rows of corn and soybean after grain harvest at three depths: 0-5; 5-10 and 10-15 cm, for determination of microbial biomass carbon (CBM), soil respiratory rate (C-CO₂), metabolic quotient (qCO₂), microbial quotient (qMIC) and total organic carbon of soil (COT). Soil respiration rate ranged between crop successions only at the 0-5 cm depth, where the highest value was found in the corn-bean succession. A difference in the soil respiratory rate was found between tillage systems at the 10-15 cm depth, where the highest values were found in the conventional tillage system. Total organic carbon differed between tillage systems at the 5-10 and 10-15 cm, where the highest values were found in the conventional tillage system. At the 10-15 cm depth, the qMIC was lower in the soil under conventional tillage and the qCO₂ was higher in the soil with the corn-bean succession. No differences were found in the microbial biomass carbon between tillage systems and crop succession in any of the evaluated depths after ten years of soil use. Crop successions affected respiratory rate of the soil microorganisms only in the lowest depth. Soybean-wheat succession crop allowed a greater activity of soil microorganisms than corn-bean succession crop.

Key-words: tillage, no-tillage, soybean-wheat, corn-bean.

1. INTRODUÇÃO

A produtividade dos ecossistemas, sejam eles agrícolas ou florestais, está diretamente ligada à atividade dos microrganismos no solo, devido à sua importância na degradação dos restos culturais e na ciclagem dos nutrientes.

Avaliar a atividade dos microrganismos no solo tem sido uma maneira rápida e prática de verificar a qualidade do solo. Os microrganismos são extremamente sensíveis às alterações ocorridas no solo pelas diferentes práticas de manejo de solo e culturas, e essas alterações são perceptíveis antes de elas serem observadas nas características químicas e físicas do solo (TRANNIN et al., 2007; VENZKE FILHO et al., 2008).

As práticas de preparo do solo para implantação das culturas diferenciam-se, principalmente, quanto ao grau de mobilização dele, assim como no tocante ao manejo dos resíduos vegetais das culturas antecessoras, sendo as formas de preparo mais comuns o plantio direto (PD) e o plantio convencional (PC).

No plantio convencional, o intenso revolvimento do solo e, por consequência, a incorporação dos restos culturais podem comprometer o estabelecimento da comunidade microbiana na camada superficial do solo. Esse comprometimento se dá uma vez que a prática de revolver o solo causa danos diretos às células dos microrganismos, por estes estarem sujeitos a maiores variações de temperatura e umidade. O plantio direto, em razão do não revolvimento do solo, da manutenção da palhada em superfície e da formação de uma camada de material vegetal em diversos estágios de decomposição, garante maior integridade das células microbianas e formação de um microclima favorável ao estabelecimento e desenvolvimento das populações microbianas (MATIAS et al., 2009; SILVA et al., 2012).

Para avaliação dos efeitos de sistemas de plantio e sucessões de culturas na atividade dos microrganismos do solo, é essencial utilizar indicadores capazes de quantificar e indicar o quanto determinado sistema de plantio e/ou sucessão de culturas pode impactar o solo. Entre as várias ferramentas disponíveis para determinação da atividade microbiana no solo, destaca-se a quantificação da biomassa microbiana, por ser um dos principais componentes da matéria orgânica viva do solo, a qual, associada ao carbono orgânico, pode ser um indicador bastante eficiente na determinação das alterações microbiológicas da qualidade do solo (SILVA et al., 2012; DE-POLLI; PIMENTEL, 2005).

Além da biomassa microbiana, também é bastante utilizada a taxa respiratória dos microrganismos no solo, ou simplesmente respiração basal (C-CO₂), que é resultante do metabolismo dos microrganismos durante o processo de degradação dos resíduos vegetais e ciclagem da matéria orgânica. Para integrar esses parâmetros e possibilitar uma avaliação mais conclusiva sobre a atividade microbiana do solo, é utilizado o quociente metabólico (qCO_2), que é a taxa de respiração dos microrganismos no solo por unidade de carbono da biomassa microbiana em determinado intervalo de tempo. Dessa forma, à medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização de recursos do ecossistema, menos CO₂ será perdido pela respiração e maior proporção de C será incorporada aos tecidos microbianos, resultando em menor valor de qCO_2 , sugerindo que o sistema encontra-se em equilíbrio (COLOZZI FILHO et al., 2001; MERCANTE, 2001; MERCANTE et al., 2008).

Eekeren et al. (2008) observaram, na superfície do solo submetido ao sistema PD por vários anos, incremento nos valores de carbono da biomassa microbiana e redução nos níveis do quociente metabólico em comparação ao solo sob PC, possibilitando ao solo sob PD, com o passar dos anos, uma condição mais próxima do equilíbrio. Segundo Roldán et al. (2003), isso se deve ao aumento dos níveis de carbono orgânico total do solo com a manutenção dos restos culturais em superfície, garantindo melhores condições para o estabelecimento e desenvolvimento da comunidade microbiana no PD.

Outra variável importante na avaliação da qualidade biológica do solo é o quociente microbiano ($qMIC$): relação entre o carbono da biomassa e o carbono orgânico total do solo. Essa variável permite avaliar a qualidade da matéria orgânica (MO) presente no solo, pois, sendo a MO disponível de baixa qualidade, geralmente em condições de estresse, há menor incorporação de carbono pela biomassa dos microrganismos, ocasionando redução nos valores de $qMIC$. Por outro lado, dispondo-se de MO de boa qualidade, há maior incorporação de carbono pelos microrganismos, o que eleva os valores de $qMIC$ (MARCHIORI JÚNIOR; MELLO, 1999).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar as alterações na atividade microbiana de um Argissolo submetido aos sistemas de plantio direto e convencional e a sucessões de culturas (milho-feijão e soja-trigo) por dez anos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em um experimento de dez anos, implantado em 2003 em Viçosa-MG, localizada a uma altitude de 650 m, com coordenadas geográficas de 20°45'54'' de latitude sul e 45°52'54'' de longitude oeste. O clima da região, segundo classificação de Köppen (1938), é do tipo Cwa, com verão quente e chuvoso e inverno seco. O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2013).

O experimento foi instalado em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas dois sistemas de plantio (direto e convencional) e, nas subparcelas, duas sucessões de culturas (milho-feijão – M-F e soja-trigo – S-T), em um delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Cada parcela tinha 25 m², e as subparcelas, 12,5 m². A área era mantida sob sistema de irrigação por aspersão; a semeadura do milho e da soja feita no verão, e a do feijão e do trigo, no inverno.

Na área de plantio direto aplicavam-se herbicidas dessecantes, para eliminação da vegetação presente; na de plantio convencional, realizava-se o revolvimento do solo com um arado de discos, seguido de uma gradagem, para quebra dos torrões e homogeneização da superfície do solo. A semeadura das culturas, nos dois sistemas de plantio, foi realizada com uma semeadora da marca Semeato 1113. O manejo pós-emergente das plantas daninhas nas culturas era realizado por meio da aplicação de herbicidas, e a colheita, feita conforme a necessidade e exigência de cada cultura.

As amostras de solo foram retiradas na entrelinha das culturas de milho e soja, após a colheita e antes do preparo do solo para o plantio de inverno do ano de 2013, em três profundidades: 0-5, 5-10 e 10-15 cm, utilizando uma pá de corte e uma cavadeira para abertura das trincheiras. Após serem retiradas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, protegidas da luz e mantidas em caixas térmicas.

Para determinação da taxa respiratória dos microrganismos no solo, foram incubados 100 g de solo, tamisado a 2 mm de abertura de malha, com umidade ajustada para 70% da capacidade de campo. O CO₂ evoluído das amostras, em 15 dias de incubação, foi capturado em frascos contendo 100 mL de NaOH (0,25 mol L⁻¹), em sistema de fluxo de ar contínuo (isento de CO₂ e umidade). Foram também incubados frascos sem amostras de solo, constituindo-se amostras em branco (VANCE et al., 1987; ISLAM; WEIL, 1998).

A taxa respiratória dos microrganismos no solo, após o período de incubação, foi determinada por titulação indireta do NaOH com HCl ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$), sendo determinado o excesso de NaOH que não reagiu com o CO_2 evoluído das amostras de solo.

De cada amostra de solo incubada, retiraram-se duas subamostras de 18 g, sendo uma destas submetida à radiação de micro-ondas por tempo previamente calculado (60 + 60 segundos), para que ocorresse a lise das células microbianas e liberação de seus componentes celulares; a outra subamostra foi mantida sem o tratamento com micro-ondas, para determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM), conforme metodologia descrita por Vance et al. (1987), modificada por Islam e Weil (1998).

O CBM foi extraído das amostras (irradiadas e não irradiadas) de solo por meio da adição de 80 mL de solução de K_2SO_4 ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$), com posterior agitação por 30 minutos, em mesa agitadora horizontal, seguida de 30 minutos de repouso. Após o repouso, as amostras foram filtradas em papel Whatman nº 42, sendo em seguida colocados 10 mL do filtrado juntamente com os reagentes: 2 mL de solução de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ($0,0667 \text{ mol L}^{-1}$) e 10 mL de solução de H_2SO_4 P.A. em tubo digestor e completando-se a seguir o volume para 100 mL, com água destilada. Foram adicionadas aos 100 mL da solução oito gotas do indicador Ferroim, sendo em seguida realizada a quantificação por meio da titulação com solução $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ de $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$, até alcançar a coloração vermelho-vítreo na solução.

Com os valores obtidos da taxa respiratória dos microrganismos no solo (C-CO_2) e com os valores do carbono da biomassa microbiana, calculou-se o valor do quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) diário do solo.

O teor de carbono orgânico total do solo (COT) foi determinado utilizando a metodologia proposta por Walkley-Black (1934), em que se usa solução de dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) e considera-se que todo carbono do solo esteja em estado de oxidação zero. Com os dados de COT e de CBM, foram calculados os valores de quociente microbiano do solo ($q\text{MIC}$).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, verificando-se efeito significativo de sistema de plantio e sucessão de culturas pelo teste F a 5% de significância. Quando houve efeito significativo da interação, o desdobramento da sucessão de culturas dentro de cada sistema de plantio foi comparado pelo teste de Tukey a 5% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Carbono orgânico total

Não houve efeito significativo dos sistemas de plantio no teor de carbono orgânico total do solo na profundidade de 0-5 cm, semelhante ao observado por Lisboa et al. (2012), estudando o efeito de sistemas de plantio, no verão e no inverno, no período de dois anos.

Nas profundidades de 5-10 e 10-15 cm, houve efeito dos sistemas de plantio no carbono orgânico total do solo, sendo os maiores valores observados no solo submetido ao plantio convencional (Figura 1a, b). Esses resultados corroboram os de Santos et al. (2004), que afirmam que a incorporação dos resíduos vegetais durante o revolvimento do solo no preparo para o plantio convencional pode proporcionar aumento no COT do solo em camadas subsuperficiais, o que dificilmente é encontrado no solo sob plantio direto, onde os restos culturais são mantidos na superfície.

De acordo com Blevins et al. (1977), Muzzili (1983), Langdale et al. (1984) e Karlen et al. (1994 a), o COT no plantio direto tende a ser maior em camadas superficiais, porém com rápido declínio em profundidade, enquanto no plantio convencional observa-se menor teor de COT em superfície e aumento em camadas subsuperficiais, conforme observado no presente estudo.

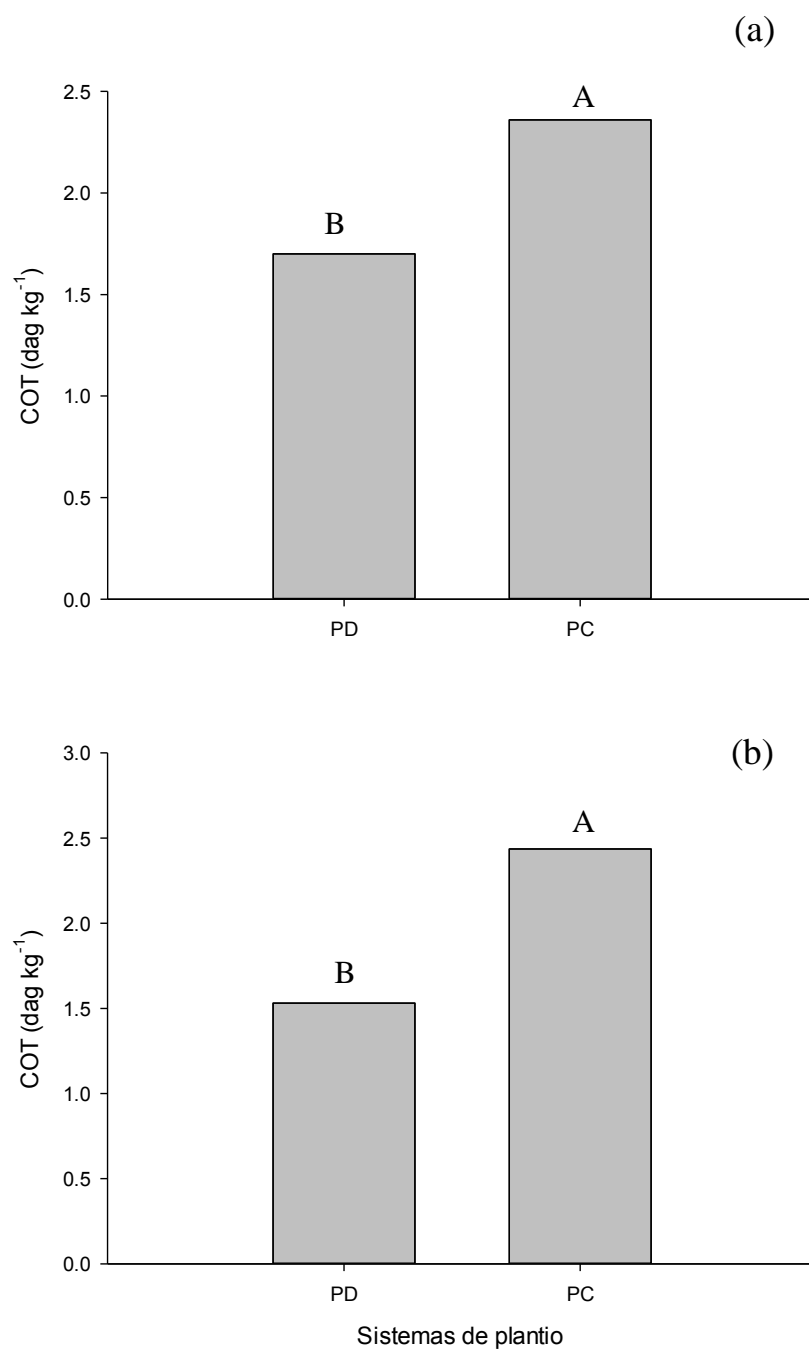


Figura 1 - Carbono orgânico total do solo (COT) em função de sistemas de plantio (direto - PD e convencional - PC), nas profundidades de 5-10 cm (a) e 10-15 cm (b). Sistemas de plantio seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F a 5 % de significância.

Houve, no sistema de plantio convencional, diferença entre as sucessões de culturas para o carbono orgânico total apenas na profundidade de 5-10 cm, onde ele foi 42 % superior na sucessão M-F (Figura 2). Essa diferença pode ser associada à quantidade de material vegetal incorporado ao solo, durante os processos periódicos de

revolvimento. No entanto, vale ressaltar que a qualidade dessa palha, principalmente no que se refere à relação C/N, é de grande importância para o COT do solo (CARDOSO, 1992).

Por ser a soja uma cultura de baixa relação C/N e o trigo apresentar menor produção de biomassa de parte aérea em relação ao milho, o uso da sucessão S-T facilita a ciclagem da matéria orgânica pelos microrganismos. Além disso, o aumento da superfície de contato entre o material vegetal e o solo – fato proporcionado pelo PC – intensifica ainda mais o processo de ciclagem da matéria orgânica pelos microrganismos, disponibilizando maior quantidade de COT ao solo (CARDOSO, 1992; CORREIA; DURIGAN, 2008).

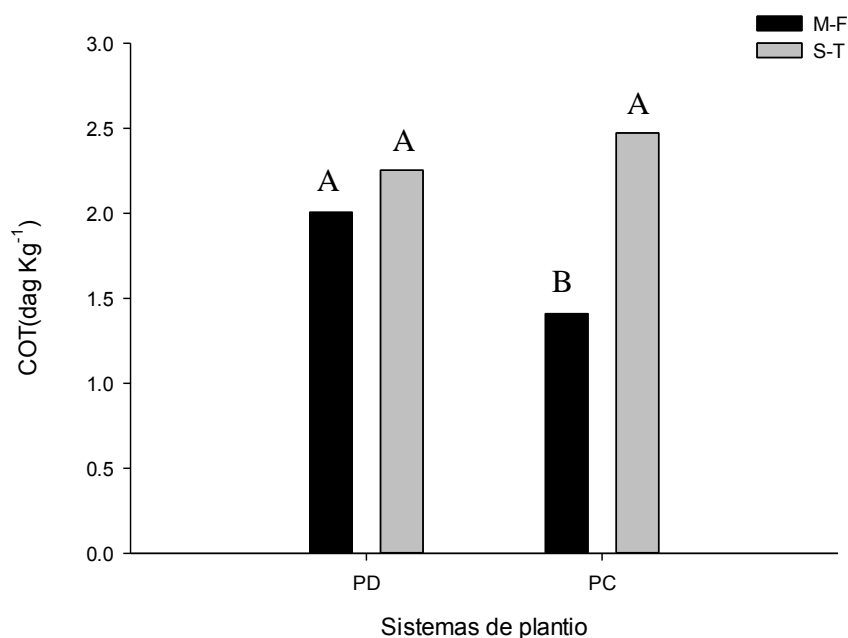


Figura 2 - Carbono orgânico total do solo (COT) em função de sistemas de plantio (direto - PD e convencional - PC) e sucessões de culturas (milho-feijão – M-F e soja-trigo – S-T), na profundidade de 0,05-0,10 m. Sucessões de culturas, no mesmo sistema de plantio, seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

3.2. Carbono da biomassa microbiana e taxa respiratória dos microrganismos no solo

Não houve diferença no carbono da biomassa microbiana entre sistemas de plantio em nenhuma das profundidades avaliadas, corroborando os resultados de

Lourente et al. (2011), que realizaram a amostragem do solo antes do plantio das culturas de inverno. Acredita-se que, estando o solo sob o mesmo sistema de plantio e sucessões de culturas por sucessivos anos, possa haver adaptação da comunidade microbiana às condições existentes no local, tornando-as capazes de desempenhar suas funções adequadamente (ALVARENGA et al., 1999).

A taxa respiratória dos microrganismos no solo diferiu entre sistemas de plantio apenas na profundidade de 10-15 cm, com o solo do plantio convencional apresentando maior valor que o do plantio direto (Figura 3). Isso se deve à maior atividade dos microrganismos na degradação dos resíduos vegetais em subsuperfície, considerando que no plantio convencional a quantidade de material vegetal em camadas subsuperficiais é maior que no solo submetido ao plantio direto.

O aumento taxa respiratória dos microrganismos no solo pode, em curto prazo, significar liberação de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera na forma de CO_2 (FOLLET; SCHIMEL, 1989, citado por SILVA et al., 2007).

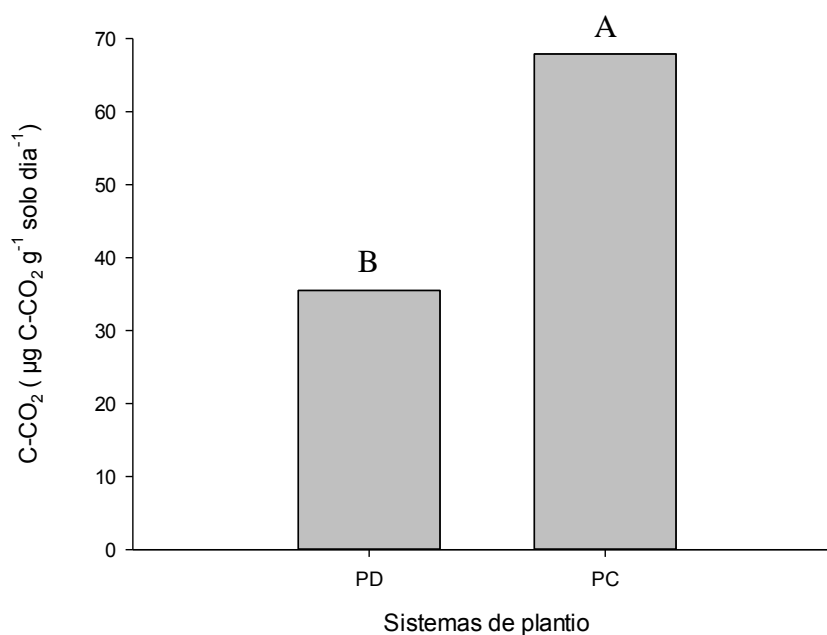


Figura 3 - Taxa respiratória dos microrganismos no solo (C-CO_2) em função de sistema de plantio (direto - PD e convencional - PC), na profundidade de 0,10-0,15 m. Sistemas de plantio seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F a 5 % de significância.

Entre as sucessões de culturas, assim como observado para os sistemas de plantio, não houve variação nos teores de carbono da biomassa microbiana.

A taxa respiratória dos microrganismos no solo diferiu entre as sucessões de culturas, na profundidade de 0-5 cm, sendo o valor médio de C-CO₂ 23 % superior no solo cultivado com a sucessão soja-trigo (Figura 4). A diferença na taxa respiratória dos microrganismos provavelmente foi devido à época de amostragem do solo, realizada após a colheita da soja e do milho, culturas com constituições diferentes e que influenciam a ação de degradação dos microrganismos.

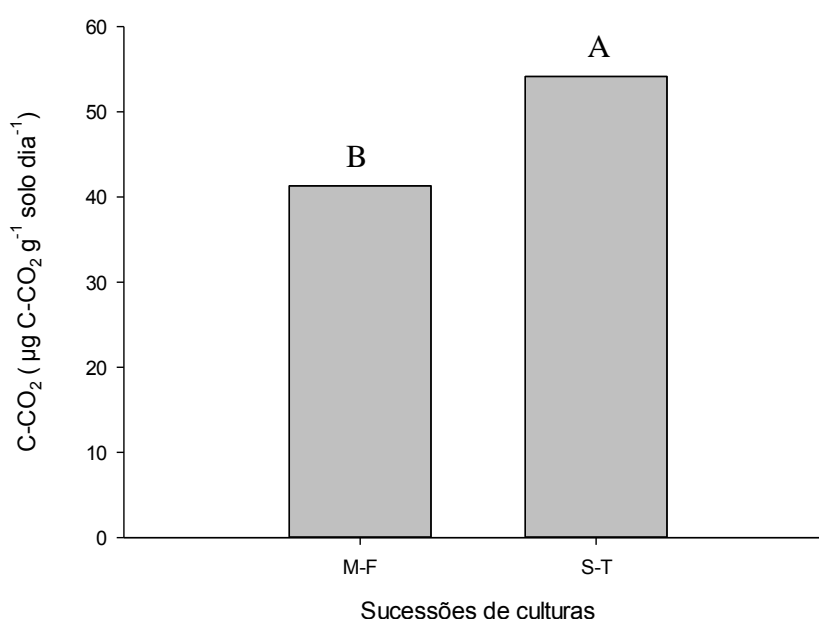


Figura 4 - Taxa respiratória dos microrganismos no solo (C-CO₂) em função de sucessão de culturas (milho-feijão – M-F e soja-trigo – S-T), na profundidade de 0-0,05 m. Sucessões de culturas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F a 5 % de significância.

3.3. Quociente microbiano e quociente metabólico do solo

Houve diferença significativa no quociente microbiano apenas entre os sistemas de plantio, sendo ela observada na profundidade de 10-15 cm. O plantio direto apresentou valor médio de *q*MIC igual a 0,91 %, e o plantio convencional, igual a 0,58 %. Segundo Lisboa et al. (2012), maior valor de *q*MIC no plantio direto está associado ao menor acúmulo de carbono pelos microrganismos em maiores profundidades nesse

sistema de plantio, em razão da menor disponibilidade de substrato (SANTOS et al., 2004).

O quociente metabólico diferiu significativamente apenas entre sucessões de culturas, sendo a diferença encontrada na profundidade de 10-15 cm. Nesse caso, o solo da sucessão milho-feijão apresentou valor médio de $0,74 \mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{CBM dia}^{-1}$, e o solo da sucessão soja-trigo, valor médio de $0,30 \mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{CBM dia}^{-1}$. Maiores valores de $q\text{CO}_2$ no solo cultivado com a sucessão M-F provavelmente indicam que essas culturas podem favorecer a perda de carbono na forma de C-CO₂ para a atmosfera, em comparação ao cultivo da sucessão soja-trigo.

De acordo com Santos et al. (2004), culturas com elevada produção de biomassa de parte aérea e que tenham em sua constituição compostos que dificultam a ação de degradação dos microrganismos – como é o caso do milho – podem aumentar o $q\text{CO}_2$ do solo, conforme observado no presente estudo.

4. CONCLUSÕES

1. Os valores de carbono da biomassa microbiana não diferiram entre os sistemas de plantio e as sucessões de culturas em nenhuma das três profundidades avaliadas, após dez anos.

2. As sucessões de culturas influenciaram a taxa respiratória dos microrganismos do solo apenas na profundidade de 0-5 cm.

3. O cultivo da sucessão soja-trigo possibilitou maior atividade dos microrganismos no solo, em relação ao cultivo da sucessão milho-feijão.

5. LITERATURA CITADA

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

BENINTENDE, S.M.; BENINTENDE, M.C.; STERREN, M.A.; BATTISTA, J.J. Soil microbiological indicators of soil quality in four rice rotations systems. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 8, n. 5, p. 704-708, 2008.

BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; CORNELIUS, P.L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after five years of continuous corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.69, n.3, p.383-386, 1977.

CARDOSO, E. J. B. N. Efeito da matéria orgânica na biologia do solo. In: ENCONTRO SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO: PROBLEMAS E SOLUÇÕES, 1992, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FCA/UNESP, 1992. p.37-62.

COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; BOLOTA, E.L. Atividade microbiana em solos cultivados em sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, Minas Gerais, v. 22, n. 208, p. 84-91, 2001.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema de plantio direto (SPD). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 4, p. 20-31, 2008.

DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M.S. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta**: ferramentas para uma agricultura sustentável, Brasília: Embrapa-SCT, 2005. p.17-28.

EEKEREN, N.V.; BOMMELE, L.; BLOEM, J.; SCHOUTEN, T.; RUTGERS, M.; DE GOEDE, R.; REHEUL, D.; BRUSSAARD, L. Soil biological quality after 36 years of ley-arable cropping, permanent grassland and permanent arable cropping. **Applied Soil Ecology**, Caserta, v.40, n.3, p.432-446, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA– EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, RJ 2011.

FOLLET, R.F.; SCHIMEL, D.S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53, n.4, p.1091-1096, 1989.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. da; PAULINO, G.M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1521-1530, 2008.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 27, n. 4, p. 408-416, 1998.

LANGDALE, G.W.; HARGROVE, W.L.; GIDDENS, J.E. Residue management in double crop conservation tillage systems. **Agronomy Journal**, Madison, p. 76, 1984.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. da; MARTINS, A. F.; SELBACH, P, A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.1, p.45-55, 2012.

LOURENTE, E.R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

KARLEN, D.L.; WOLLENHAUPT, N.C.; BERRY, E.C.; SWAN, J.B.; EASCH, N.S.; JORDAHL, J.L. Long-term tillage effects on soil quality. **Soil and Tillage Research**, v.32, n.4, p.313-327, 1994b.

KOPPEN, W. Das geographische system der klimate. **Handbuch de klimatologie**. Berlim, Bortraeger, 1938.

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**, Viçosa, v.23, n.2, p.257-263, 1999.

MATIAS, M.C.B.S.; SALVIANO, A.A.C.; LEITE, L.F.C.; ARAÚJO, A.S.F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do estado do Piauí. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.31, n.3, p.517-521, 2009.

MERCANTE, F.M. Biomassa e atividade microbiana: Indicadores da qualidade do solo. **Direto Cerrado**, p. 9-10, 2001.

MERCANTE, F.M.; SILVA, R.F.; FRANCELINO, C.S.F.; CAVALHEIRO, J.C.T.; OTSUBO, A.A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, n.4, p.479-485, 2008.

MUZZILI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.1, p. 95-102, 1983.

ROLDÁN, A.; CARAVACA, F.; HERNÁNDEZ, M.T.; GARCIA, C.; SÁNCHEZ-BRITO, C.; VELÁSQUEZ, M.; TISCAREÑO, M. No tillage, crop rotations, and legume corn cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed. **Soil and Tillage Research**, México, v.72, n.1p.65-73, 2003.

SANTOS, V. B. dos; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M.V.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. da S.; SILVA, D.G. da. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v.10, n. 3, p. 333-338, 2004.

SILVA, C. F. da; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; FERNANDES, J. C. F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E. G.; Silva, E. M. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do

Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.6, p.1680-1689, 2012.

SILVA, M. B. da; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M. da; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.12, p.1755-1761, dez. 2007.

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

TRANNIN, I.C. de B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M. de S. CARACTERÍSTICAS biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.5, p.1173-1184, 2007.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. Na extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VENZKE FILHO, S.P.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C.C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais – Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.599-610, 2008.

WALKLEY, A.; BLACK, J.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v.37, n.1, p. 29-38, 1934.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tanto as características físicas do solo quanto as microbiológicas podem ser influenciadas pelos diferentes sistemas de plantio e sucessão de culturas, sendo o grau dessas alterações dependente, principalmente, do tempo de uso dos sistemas de plantio e das culturas na mesma área.

Neste estudo, verificou-se que o uso do sistema plantio direto na mesma área por dez anos proporcionou, na camada superficial do solo (0-0,05 m), maiores valores de microporosidade e porosidade total em relação ao plantio convencional, principalmente quando cultivado com a sucessão milho-feijão, culturas que também proporcionaram maior porosidade no solo nas profundidades de 0,10-0,15 e 0,20-0,25 m. A densidade do solo – que no caso do plantio direto costuma aumentar consideravelmente em relação ao observado no PC – não apresentou diferença significativa entre os sistemas de plantio, mostrando que com passar do tempo o efeito do plantio sobre a densidade do solo pode ser minimizado.

A atividade dos microrganismos no solo é principalmente dependente da localização e da quantidade de restos culturais no solo. Assim, devido ao não revolvimento do solo no plantio direto, os restos culturais são mantidos em superfícies, garantindo aos microrganismos maior quantidade de substrato na camada superficial, o que estimula a sua atividade microbiana em superfície. Contudo, nesse trabalho não foi observado efeito dos sistemas de plantio na atividade do solo em superfície. No preparo convencional, devido à incorporação dos restos culturais, tem-se maior atividade dos microrganismos em profundidade. Além disso, um fator que também se mostrou importante para a atividade dos microrganismos é a constituição dos restos culturais, em que a menor relação C/N da soja pode ter favorecido a maior atividade dos microrganismos, visto que os maiores valores de C-CO₂ foram observados no solo onde ela era cultivada.

Neste estudo, foi possível observar que o plantio direto pode melhorar algumas características físicas do solo, como porosidade e densidade, com o passar do tempo, sobretudo em camadas superficiais.

ANEXOS

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para sistema de plantio (Sist.) e sucessão de culturas (Suces.), na linha de plantio das culturas de verão (milho e soja), na profundidade de 0-0,05 m. Mic: microporosidade, Mac: macroporosidade, Pt: porosidade total e Ds: densidade do solo

F.V.	G.L.	Quadrado Médio			
		Mic	Mac	Pt	Ds
Sist.	1	0,000216 ^{ns}	0,004900 ^{ns}	0,004225 ^{ns}	0,010506 ^{ns}
Erro (a)	3	0,000817	0,003283	0,000958	0,009623
Suce.	1	0,013225*	0,011025 ^{ns}	0,000100 ^{ns}	0,004556 ^{ns}
Sist. x Suces.	1	0,012100*	0,001225*	0,006400*	0,013806 ^{ns}
Erro (b)	9	0,000578	0,001344	0,000264	0,003106
Total	15	-	-	-	-
C.V.a (%)	-	6,00	69,46	5,54	8,68
C.V.b (%)	-	5,05	44,44	2,91	4,93

* F significativo a 5% de probabilidade; ns F não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para sistema de plantio (Sist.) e sucessão de culturas (Suces.), na entre linha de plantio das culturas de verão (milho e soja), na profundidade de 0-0,05 m. Mic: microporosidade, Mac: macroporosidade, Pt: porosidade total e Ds: densidade do solo

F.V.	G.L.	Quadrado Médio			
		Mic	Mac	Pt	Ds
Sist.	1	0.000100 ^s	0.001806 ^{ns}	0.000900 ^{ns}	0.020306*
Erro (a)	3	0.000250	0.000406	0.000117	0.001923
Rot.	1	0.000900 ^{ns}	0.000156 ^{ns}	0.000900 ^{ns}	0.007656 ^{ns}
Sist. x Rot.	1	0.009025*	0.000006 ^{ns}	0.009025*	0.049506*
Erro (b)	9	0.000178	0.000351	0.000422	0.003284
Total	15	-	-	-	-
C.V.a (%)	-	3.25	46.74	2.05	3.61
C.V.b (%)	-	2.74	43.42	3.90	4.71

* F significativo a 5% de probabilidade; ns F não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância dos dados de sistema de plantio (Sist.) e sucessão de culturas (Suces.) na linha de plantio das culturas de verão (milho e soja), na profundidade de 0,10-0,15 m. Mic: microporosidade, Mac: macroporosidade, Pt: porosidade total e Ds: densidade do solo

F.V.	G.L.	Quadrado Médio			
		Mic	Mac	Pt	Ds
Sist.	1	0,007656*	0,000900 ^{ns}	0,003025 ^{ns}	0,051756*
Erro (a)	3	0,000140	0,000917	0,000575	0,002673
Suces.	1	0,001406 ^{ns}	0,000625 ^{ns}	0,000225 ^{ns}	0,005256 ^{ns}
Sist. x Suces.	1	0,000056 ^{ns}	0,000100 ^{ns}	0,000400 ^{ns}	0,000506 ^{ns}
Erro (b)	9	0,000306	0,000600	0,000192	0,003728
Total	15	-	-	-	-
C.V.a (%)	-	2,52	59,08	4,59	4,14
C.V.b (%)	-	3,73	47,79	2,65	4,89

* F significativo a 5% de probabilidade; ns F não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para sistema de plantio (Sist.) e sucessão de culturas (Suces.), na entre linha de plantio das culturas de verão (milho-feijão), na profundidade de 0,10-0,15 m. Mic: microporosidade, Mac: macroporosidade, Pt: porosidade total e Ds: densidade do solo

F.V.	G.L.	Quadrado Médio			
		Mic	Mac	Pt	Ds
Sist.	1	0.007225*	0.000156 ^{ns}	0.003600 ^{ns}	0.050625*
Erro (a)	3	0.000025	0.000573	0.000617	0.002425
Suces.	1	0.000625 ^{ns}	0.000156 ^{ns}	0.000100 ^{ns}	0.014400 ^{ns}
Sist. x Suces.	1	0.000100 ^{ns}	0.000306 ^{ns}	0.000900 ^{ns}	0.022500*
Erro (b)	9	0.000408	0.000362	0.000350	0.004175
Total	15	-	-	-	-
C.V.a (%)	-	1.05	52.46	4.73	3.96
C.V.b (%)	-	4.23	41.69	3.56	5.20

* F significativo a 5% de probabilidade; ns F não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância dos dados de sistema de plantio (Sist.) e sucessão de culturas (Suces.), na linha de plantio das culturas de verão (milho e soja), na profundidade de 0,20-0,25 m. Mic: microporosidade, Mac: macroporosidade, Pt: porosidade total e Ds: densidade do solo

F.V.	G.L.	Quadrado Médio			
		Mic	Mac	Pt	Ds
Sist.	1	0,002256*	0,000225 ^{ns}	0,003025 ^{ns}	0,027225*
Erro (a)	3	0,000206	0,000958	0,000508	0,001092
Suces.	1	0,003906*	0,000025 ^{ns}	0,004225*	0,032400*
Sist. x Suces.	1	0,000006 ^{ns}	0,000900 ^{ns}	0,000625 ^{ns}	0,003025 ^{ns}
Erro (b)	9	0,000173	0,000508	0,000664	0,000675
Total	15	-	-	-	-
C.V.a (%)	-	3,01	83,19	4,45	2,65
C.V.b (%)	-	2,76	75,15	5,09	2,09

* F significativo a 5% de probabilidade; ns F não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância dos dados de sistema de plantio (Sist.) e sucessão de culturas (Suces.), na entre linha de plantio das culturas de verão (milho e soja), na profundidade de 0,20-0,25 m. Mic: microporosidade, Mac: macroporosidade, Ds: densidade do solo e Pt: porosidade total

F.V.	G.L.	Quadrado Médio			
		Mic	Mac	Pt	Ds
Sist.	1	0,002256 ^{ns}	0,000306 ^{ns}	0,003906*	0,016256 ^{ns}
Erro (a)	3	0,000506	0,000156	0,000173	0,009206
Suces.	1	0,006006*	0,000506 ^{ns}	0,002756*	0,006806 ^{ns}
Sist. x Suces.	1	0,000506 ^{ns}	0,000156 ^{ns}	0,000006 ^{ns}	0,009506 ^{ns}
Erro (b)	9	0,000378	0,000878	0,000534	0,002806
Total	15	-	-	-	-
C.V.a (%) =	-	4,79	28,99	2,56	7,57
C.V.b (%) =	-	4,14	68,73	4,49	4,18

* F significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} F não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância para sistema de plantio (Sist.) e sucessão de culturas (Suces.), na profundidade de 0-0,05 m. CBM: carbono da biomassa microbiana, C-CO₂: taxa respiratória dos microrganismos no solo, *q*CO₂: quociente metabólico, *q*MIC: quociente microbiano, MO: matéria orgânica e COT: carbono orgânico total

F.V.	G.L.	Quadrado Médio					
		CBM	C-CO ₂	<i>q</i> CO ₂	<i>q</i> MIC	MO	COT.
Sist.	1	3721.6974 ^{ns}	28.0296 ^{ns}	0.0177 ^{ns}	0.0018 ^{ns}	1.4840 ^{ns}	0.5002 ^{ns}
Erro (a)	2	17543.3973	327.1624	0.0416	0.1566	0.3335	0.1105
Suces.	1	26011.2096 ^{ns}	494.0833*	0.0088 ^{ns}	0.3290 ^{ns}	0.0120 ^{ns}	0.0045 ^{ns}
Sist. x Suces.	1	7408.7790 ^{ns}	90.7500 ^{ns}	0.0266 ^{ns}	0.3037 ^{ns}	1.1532 ^{ns}	0.3852 ^{ns}
Erro (b)	6	8001.5320	73.1859	0.0181	0.1533	0.2325	0.0778
Total	-	-	-	-	-	-	-
C.V.a (%)	-	44.60	37.90	104.89	34.72	12.68	12.59
C.V.b (%)	-	30.12	17.92	69.27	34.34	10.59	10.56

* F significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} F não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 8 - Resumo da análise de variância para sistema de plantio (Sist.) e sucessão de culturas (Suces.), na profundidade de 0,05-0,10 m. CBM: carbono da biomassa microbiana, C-CO₂: taxa respiratória dos microrganismos solo, *q*CO₂: quociente metabólico, *q*MIC: quociente microbiano, MO: matéria orgânica e COT: carbono orgânico total

F.V.	G.L.	Quadrado Médio					
		CBM	C-CO ₂	<i>q</i> CO ₂	<i>q</i> MIC	MO	COT.
Sist.	1	43642.7285 ^{ns}	363.0000 ^{ns}	0.1530 ^{ns}	4.1055 ^{ns}	3.8307*	1.2871*
Erro (a)	2	3354.9093	282.2967	0.0372	0.6007	0.1891	0.0642
Suces.	1	136.9576 ^{ns}	17.9585 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.5499 ^{ns}	0.3072 ^{ns}	0.1064 ^{ns}
Sist. x Suces.	1	25.1141 ^{ns}	219.6496 ^{ns}	0.0070 ^{ns}	0.6115 ^{ns}	1.4700*	0.5002*
Erro (b)	6	25193.6251	210.6663	0.0580	1.5519	0.0708	0.0237
Total	-	-	-	-	-	-	-
C.V.a (%) =	-	24.65	32.89	61.99	58.50	12.39	12.45
C.V.b (%) =	-	67.56	28.41	77.40	94.03	7.58	7.56

* F significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} F não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância para sistema de plantio (Sist.) e sucessão de culturas (Suces.), na profundidade de 0,10-0,15 m. CBM: carbono da biomassa microbiana, C-CO₂: taxa respiratória dos microrganismos no solo, *q*CO₂: quociente metabólico, *q*MIC: quociente microbiano, MO: matéria orgânica e COT: carbono orgânico total

F.V.	G.L.	Quadrado Médio					
		CBM	C-CO ₂	<i>q</i> CO ₂	<i>q</i> MIC	MO	COT.
Sist.	1	279.3675 ^{ns}	3146.6885*	0.1759 ^{ns}	0.3526*	7.2852*	2.4570*
Erro (a)	2	547.5603	14.5699	0.0221	0.0138	0.0383	0.0135
Suces.	1	40221.9723 ^{ns}	1008.3333 ^{ns}	0.5856*	1.2995 ^{ns}	0.1102 ^{ns}	0.0374 ^{ns}
Sist. x Suces.	1	1888.5243 ^{ns}	189.4485 ^{ns}	0.0139 ^{ns}	0.4155 ^{ns}	0.3996 ^{ns}	0.1302 ^{ns}
Erro (b)	6	7511.7337	206.4784	0.0779	0.2205	0.0668	0.0229
Total	-	-	-	-	-	-	-
C.V.a (%)		16.84	7.38	28.56	15.74	5.72	5.86
C.V.b (%)		62.38	27.79	53.56	62.89	7.55	7.63

* F significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} F não significativo a 5% de probabilidade.