

# Qualidade do solo cultivado com morangueiro sob manejo convencional e orgânico<sup>1</sup>

Jales Viana Falcão<sup>2</sup>, Marilusa Pinto Coelho Lacerda<sup>3</sup>,  
Ieda de Carvalho Mendes<sup>4</sup>, Tairone Paiva Leão<sup>3</sup>, Fabiana Fonseca do Carmo<sup>5</sup>

## ABSTRACT

Quality of soil cultivated with strawberry under conventional and organic tillage

The maintenance of soil functions in agroecosystems is among the main challenges for the scientific community, nowadays. Thus, this study aimed at evaluating the physical, chemical and biological soil quality indicators of three commercial strawberry production units, in Brazlândia, Distrito Federal, Brazil, being two of them managed under conventional tillage (Conv1 and Conv2) and the third under organic tillage (Org). The Conv1 consisted of strawberry cultivation in an area previously covered with pasture (*Brachiaria* spp.) for 12 years, without fertilization or stocking rate control; the Conv2 was characterized by strawberry cultivation in a succession/rotation cropping system with other horticultural species; and the Org was implemented after the green fertilization with maize intercropped with castor bean. The following soil quality indicators were evaluated: soil density, aggregate stability, organic matter, cation exchange capacity (CEC), electric conductivity,  $\beta$ -glucosidase and acid-phosphatase. The values observed for physical indicators were generally considered sustainable for the Brazilian Savannah Oxisols. The organic matter contents were similar in all systems and the CEC was higher or close to the critical limit considered sustainable. Due to the high fertilizer input, the highest electric conductivity was observed for the Conv2, but there was no negative impact on yield. The  $\beta$ -glucosidase and acid-phosphatase enzymes activity indicated a good soil biological quality in all the strawberry production units evaluated.

KEY-WORDS: *Fragaria X ananassa* Duch.; beta-glucosidase; acid-phosphatase.

## RESUMO

A manutenção das funções do solo nos agroecossistemas encontra-se entre os principais desafios da comunidade científica, na atualidade. Assim, este estudo objetivou avaliar indicadores físicos, químicos e biológicos de qualidade do solo, em três unidades de produção comercial de morango, em Brazlândia (DF), sendo duas sob sistema de produção convencional (Conv1 e Conv2) e uma sob sistema orgânico (Org). O Conv1 é caracterizado pelo cultivo de morango em área que esteve ocupada por 12 anos com pastagem (*Brachiaria* spp.), sem controle de lotação e sem adubação; o Conv2 pelo cultivo do morango em sucessão/rotação com outras espécies olerícolas; e o Org ocorreu após a adubação verde com o consórcio de milho e mamona. Os atributos indicadores de qualidade do solo avaliados foram: densidade de solo, estabilidade de agregados, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica (CTC), condutividade elétrica,  $\beta$ -glicosidase e fosfatase ácida. Os valores observados para os indicadores físicos foram, de maneira geral, considerados sustentáveis, para latossolos do Cerrado. Os teores de matéria orgânica mostraram-se similares em todos os sistemas e a CTC foi superior ou próxima ao limite crítico considerado sustentável. Em função da elevada aplicação de fertilizantes, a maior condutividade elétrica foi registrada para o Conv2, mas não houve efeito deletério sobre a produtividade. As atividades das enzimas  $\beta$ -glicosidase e fosfatase ácida indicaram boa qualidade biológica do solo, em todas as unidades produtivas de morango avaliadas.

PALAVRAS-CHAVE: *Fragaria X ananassa* Duch.; beta-glicosidase; fosfatase ácida.

## INTRODUÇÃO

A qualidade do solo é conceituada como uma ligação importante entre as estratégias de manejo conservacionistas e a realização dos principais objetivos da agricultura sustentável (Doran 2002).

Tilman et al. (2002) definem agricultura sustentável como sendo a prática que atende às necessidades atuais e de longo prazo, para a produção de alimentos, fibras e outras necessidades das sociedades, ao mesmo tempo em que maximiza os benefícios obtidos por meio da conservação dos recursos

1. Trabalho recebido em abr./2013 e aceito para publicação em dez./2013 (nº registro: PAT 23494).

2. Instituto Brasília Ambiental (Ibram), Brasília, DF, Brasil. E-mail: jalesfalcao@gmail.com.

3. Universidade de Brasília (UnB), Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, DF, Brasil.  
E-mails: marilusa@unb.br, tleao@unb.br.

4. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Cerrados), Brasília, DF, Brasil. E-mail: mendesi@cpac.embrapa.br.

5. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), Brasília, DF, Brasil. E-mail: biagrounb@hotmail.com.

naturais, para manter outros serviços e funções do ecossistema.

Embora a qualidade do solo não possa ser medida diretamente, ela pode ser inferida por meio de indicadores. Doran & Parkin (1994) afirmam que um bom indicador de qualidade do solo deve atender aos seguintes critérios: elucidar processos do ecossistema e relacioná-los aos processos-modelos; integrar propriedades biológicas, físicas e químicas do solo e os respectivos processos; ser acessível a muitos usuários e aplicável a condições de campo; ser sensível a variações de manejo e de clima, ao longo do tempo; e, quando possível, ser componente de um banco de dados já existente. Com base nestes critérios, os autores propuseram um conjunto básico de indicadores de ordem biológica, física e química: textura, densidade do solo, profundidade do solo e de raízes, capacidade de armazenamento e retenção de água, infiltração de água no solo, conteúdo de água no solo, temperatura do solo, teores de C e N orgânicos, pH, condutividade elétrica, teores de N mineral, P, K, C e N da biomassa microbiana, respiração do solo, N potencialmente mineralizável, C na biomassa, em relação ao C orgânico total, e respiração microbiana, em relação à biomassa.

Atualmente, verifica-se que vários estudos têm sido desenvolvidos para avaliar as influências das práticas de manejo sobre a qualidade do solo e suas consequências sobre a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola, apoiados em conjuntos de indicadores de qualidade do solo, valores de referência para comparação, modelos de análise e avaliação, podendo-se citar, dentre os mais recentes, Mendes et al. 2009, Vezzani & Mielniczuk 2009, Peixoto et al. 2010, Reganold et al. 2010, Silva et al. 2012 e Lopes et al. 2013.

Por ser capaz de indicar a intensidade de alguns processos bioquímicos, estar estreitamente relacionada com a atividade biológica e apresentar respostas rápidas às mudanças de manejo do solo, a atividade enzimática tem sido proposta como um dos principais indicadores da atividade biológica e da qualidade do solo (Chaer & Tótola 2007, Mendes et al. 2009, Peixoto et al. 2010, Silva et al. 2012, Lopes et al. 2013).

A preocupação com os impactos negativos ambientais, econômicos e sociais da agricultura convencional tem levado muitos agricultores a buscarem alternativas para uma agricultura mais sustentável. Dentre elas, está o sistema orgânico de produção, que

incentiva o uso de compostos orgânicos para melhorar a qualidade do solo, além do controle natural de pragas, rotação de culturas, diversidade de cultivos e animais e a proibição do uso de fertilizantes sintéticos e agrotóxicos, dentre outros.

Alguns estudos têm demonstrado a superioridade do sistema de produção orgânico frente ao convencional, sobre os indicadores físicos, químicos e biológicos de qualidade do solo (Reganold et al. 1993, Reganold et al. 2001, Mäder et al. 2002). No entanto, existem estudos nos quais não foram observadas vantagens (Trewavas 2004, Pardo et al. 2009), ou sequer diferenças entre estes sistemas (Glover et al. 2000, Kamiyama et al. 2011).

O morango (*Fragaria Xananassa* Duch.) é um fruto muito apreciado mundialmente. No Brasil, os principais produtores são os Estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, São Paulo e Paraná (Camargo Filho & Camargo 2009). Porém, observa-se uma expansão do cultivo do morango em regiões consideradas não tradicionais, como o Distrito Federal (DF).

Apesar da importância econômica e social do cultivo de morango e das demais culturas olerícolas, tanto no Distrito Federal quanto no Brasil, verifica-se que a maioria dos estudos envolvendo a qualidade do solo é realizada especialmente para grandes culturas (Buman et al. 2004, Karlen et al. 2006).

Diante do exposto, este trabalho objetivou avaliar indicadores físicos, químicos e biológicos de qualidade do solo, em três unidades de produção comercial de morango, em Brazlândia (DF), sendo duas sob sistema de produção convencional e uma sob sistema orgânico.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no ano de 2011, em três unidades de produção comercial de morango, localizadas na Região Administrativa de Brazlândia (DF) (15°35'00"S a 15°48'00"S, 48°03'00"W a 48°15'00"W). A precipitação anual, nesta região, é de 1.200-1.700 mm. As altitudes das áreas estudadas variaram de 1.209 m a 1.274 m, o que as caracteriza como clima tropical de altitude (Cwb), conforme classificação de Köppen. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, A moderado, muito argiloso.

As unidades de produção de morango avaliadas, cuja descrição e histórico dos sistemas de manejo encontram-se na Tabela 1, são caracterizadas por

três sistemas de manejo, sendo dois convencionais (Conv1 e Conv2) e um orgânico (Org). O sistema de manejo convencional 1 (Conv1) é caracterizado pelo cultivo de morango em área que esteve ocupada por 12 anos com pastagem de gramíneas do gênero *Brachiaria* spp., sem controle de lotação e sem adubação, enquanto o sistema de manejo convencional 2 (Conv2) se caracteriza pelo cultivo de morango em rotação com outras espécies olerícolas (cenoura, couve-flor e beterraba), sendo esta sucessão/rotação de culturas a mais comumente adotada na região. Já o cultivo de morango no sistema orgânico (Org) ocorreu imediatamente após a adubação verde com

o consórcio de milho e mamona, sendo que, anteriormente, a área esteve sob pousio, por um ano.

A coleta das amostras de solo, para avaliação dos indicadores de qualidade, foi realizada na décima sexta semana após o transplantio, nos canteiros cultivados com a variedade Camino Real, entre as linhas do morangueiro, retirando-se, em cada unidade produtiva, amostras indeformadas e deformadas compostas, estas últimas constituídas por cinco amostras deformadas simples. A amostragem foi realizada às profundidades de 0-0,1 m e 0,2-0,3 m, em três pontos equidistantes, ao longo dos canteiros, com três repetições cada, totalizando 18 amostras por

Tabela 1. Descrição e histórico dos sistemas de manejo das unidades de produção de morango avaliadas (Brazlândia, DF, 2011).

Unidade produtiva	Variedade	Descrição e histórico
Org	Albeon, Camino Real e Festival	A área está, há 7 anos, com certificação (Ecocert) no sistema orgânico, em Latossolo Vermelho distrófico. O morango é cultivado a cada 3 anos. Após cada cultivo do morango, a área é usada para a produção de outras olerícolas (como a batata), seguindo-se 1 ano de pousio e, depois, a adubação verde. O cultivo atual do morango foi antecedido pela adubação verde com o consórcio milho/mamona. Na preparação do solo, o adubo verde foi incorporado por meio de grade-aradora (1x). A adubação de base foi realizada com os seguintes produtos: fosfato natural de Araxá (500 kg ha <sup>-1</sup> ); composto orgânico (49,5 m <sup>3</sup> ); Bokashi (100 kg ha <sup>-1</sup> ); e biofertilizante (3 tambores de 200 L). Os canteiros foram construídos por meio de encanteiradora (1x). O plantio foi realizado em abril de 2011, no espaçamento de 0,35 m x 0,35 m, sendo 3 linhas por canteiro. Na adubação de cobertura, foram empregados os compostos orgânicos e os biofertilizantes. Foram usados produtos biológicos para os tratamentos fitossanitários. A irrigação foi por gotejamento e aspersão.
Conv1	Camino Real, Festival e Osogrande	A área com Latossolo Vermelho distrófico ficou por 12 anos ocupada com pastagem do gênero <i>Brachiaria</i> spp., sem adubação e com rara presença de animais. O preparo do solo para a cultura do morango foi realizado entre fevereiro e março de 2011, por meio de arado de discos (2x) e grade-aradora (1x), incorporando-se a gramínea, o calcário dolomítico (1,5 t ha <sup>-1</sup> ) e os esterco bovino e de frango (46,9 m <sup>3</sup> ). Os canteiros, com 1,20 m de largura, foram construídos por meio de encanteiradora (2x). A adubação de base ocorreu em março de 2011, com os seguintes produtos: 04-14-07 (2.500 kg ha <sup>-1</sup> ); Yoorin Master (1.250 kg ha <sup>-1</sup> ); farinha de osso (469 kg ha <sup>-1</sup> ); e torta de mamona (1.000 kg ha <sup>-1</sup> ). O plantio foi realizado em março, com espaçamento de 0,35 m x 0,35 m, sendo 3 linhas por canteiro. Na adubação de cobertura, foram empregados adubos granulados e foliares, bem como fertirrigação. Foram usados agrotóxicos nos tratamentos fitossanitários. A irrigação foi por gotejamento e aspersão.
Conv2	Camarosa, Camino Real, Festival e Osogrande	Antes do morango, a área com Latossolo Vermelho distrófico foi cultivada com outras olerícolas (cenoura, couve-flor e beterraba). As adubações realizadas nas olerícolas foram as seguintes: Cenoura - base: 2.000 kg ha <sup>-1</sup> de 04-14-08 + 520 kg ha <sup>-1</sup> de Yoorin; cobertura: 750 kg ha <sup>-1</sup> de 10-10-10 e 750 kg ha <sup>-1</sup> de 20-00-20. Couve-flor - base: 300 kg ha <sup>-1</sup> de 04-14-08; cobertura: 600 kg ha <sup>-1</sup> de 20-00-20. Beterraba - base: 30 m <sup>3</sup> de esterco de aviário; cobertura: 2.000 kg ha <sup>-1</sup> de 20-00-20. Os restos vegetais da beterraba foram incorporados por meio de grade-aradora. Após 45 dias, passou-se novamente a grade-aradora, para incorporar o calcário dolomítico (1.250 kg ha <sup>-1</sup> ), o calcário calcítico (750 kg ha <sup>-1</sup> ) e o esterco de frango (30 m <sup>3</sup> ). Os canteiros, com cerca de 1,20 m de largura, foram construídos por meio de encanteiradora (2x). A adubação de base ocorreu em março de 2011, com os seguintes produtos: 04-14-08 (2.000 kg ha <sup>-1</sup> ); Yoorin Master (520 kg ha <sup>-1</sup> ); farinha de osso (1.200 kg ha <sup>-1</sup> ); sulfato de Zn (26,6 kg ha <sup>-1</sup> ); Bórax (26,6 kg ha <sup>-1</sup> ); e sulfato de Mg (26,6 kg ha <sup>-1</sup> ). O plantio foi realizado em março de 2011, com espaçamento de 0,35 m x 0,35 m, sendo 3 linhas de plantas por canteiro. Empregou-se, na adubação de cobertura, o formulado 13-03-25. Para tratamentos fitossanitários, foram usados agrotóxicos. A irrigação foi por aspersão.

unidade de produção. A profundidade de 0,2-0,3 m foi estabelecida de modo a conhecer os efeitos em subsuperfície do revolvimento no canteiro, cujo preparo pode ocorrer a até 0,3 m de profundidade, com base em estudos similares, como o de Reganold et al. (2010).

A densidade do solo (Ds) e a estabilidade de agregados (EA) foram os indicadores selecionados para avaliar a qualidade física do solo. A determinação da densidade do solo foi realizada por meio de amostras indeformadas, empregando-se o método do anel volumétrico (Embrapa 1997). A estabilidade de agregados foi determinada por peneiramento úmido, com oscilação vertical, por meio do equipamento Yooder, conforme descrito em Embrapa (1997). Para a separação de classes de tamanho dos agregados, foram utilizadas peneiras com as seguintes aberturas de malha: 2 mm; 1 mm; 0,50 mm; e 0,25 mm, com o teor de agregados retidos em cada peneira expresso na seguinte ordem: 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,50 mm; e 0,50-0,25 mm. O diâmetro médio ponderado foi calculado de acordo com a equação proposta por Youker & McGuinness (1957):  $DMP = \Sigma(FiXi)/100$ , em que  $i = 1$  a 5,  $Fi = \%$  de agregados e  $Xi = (\text{abertura da peneira passada} + \text{abertura da peneira retida})/2$ .

Os indicadores químicos eleitos para a avaliação da qualidade do solo foram: matéria orgânica do solo (MOS), capacidade de troca catiônica (CTC) e condutividade elétrica (CE). A determinação destes indicadores foi feita de acordo com os métodos analíticos descritos em Embrapa (1997) e da fração terra fina seca ao ar (TFSA) das amostras compostas. Para a MOS, utilizou-se o método de oxidação via

úmida, enquanto a CTC foi calculada pela soma das bases trocáveis ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ ) e acidez potencial ( $H+Al^{3+}$ ), cujos procedimentos foram extraídos de Embrapa (1997). Para a condutividade elétrica, o método empregado foi o do extrato obtido da pasta de saturação do solo (Embrapa 1997). Adicionalmente, foram analisados os teores de P e K extraídos com o extrator Mehlich-I, além do pH em água (Embrapa 1997).

A qualidade biológica do solo foi avaliada nas amostras compostas, mediante a determinação da atividade das enzimas  $\beta$ -glicosidase (associada ao ciclo do carbono) e da fosfatase ácida (associada ao ciclo do fósforo) (Tabatabai 1994). Tais métodos se baseiam na determinação colorimétrica do *p*-nitrofenol (coloração amarela), formado após a adição de substratos incolores específicos a cada enzima avaliada.

Os dados foram analisados estatisticamente, utilizando-se delineamento inteiramente casualizado (Anova), por meio do *software Statistics Analysis System* (SAS Institute 2002), com os tratamentos nas parcelas e as profundidades nas subparcelas. A comparação de médias foi feita pelo teste Tukey, a 5%. Foram, ainda, determinadas as correlações entre os atributos físicos, químicos e biológicos estudados, por análise de correlação de Pearson.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas unidades produtivas avaliadas (Conv1, Conv2 e Org), os valores obtidos para a densidade do solo (Ds) oscilaram entre 0,82 Mg m<sup>-3</sup> e 0,93 Mg m<sup>-3</sup>,

Tabela 2. Atributos físicos, químicos e biológicos utilizados na avaliação da qualidade de um Latossolo Vermelho distrófico típico, sob sistema de cultivo convencional e orgânico, na produção de morango (Brazlândia, DF, 2011).

Unidade produtiva	Ds	EA	MO	CTC	CE	$\beta$ -glicosidase	Fosfatase ácida
	Mg m <sup>-3</sup>	DMP	g kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	dS m <sup>-1</sup>	$\mu$ g <i>p</i> -nitrofenol g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	
<i>Profundidade: 0-0,1 m</i>							
Org	0,93 aA	2,47 aA	52,1 aA	10,92 aB	0,62 aB	189,01 aA	882,30 aB
Conv1	0,92 aA	2,29 aA	49,0 aA	11,24 aB	0,30 aB	218,85 aA	1.800,20 aA
Conv2	0,82 aB	2,36 aA	53,1 aA	14,10 aA	3,20 aA	203,88 aA	1.083,70 aB
<i>Profundidade: 0,2-0,3 m</i>							
Org	0,89 aAB	2,30 aA	43,6 bA	8,80 bA	0,21 aB	87,37 bB	765,40 aB
Conv1	0,93 aA	2,28 aA	35,8 bB	6,68 bB	0,17 bB	79,84 bB	1.096,30 bA
Conv2	0,82 aB	1,96 bB	46,2 bA	9,89 bA	1,44 bA	135,03 bA	999,70a AB

Org = sistema orgânico; Conv1 = sistema convencional após pastagem; Conv2 = sistema convencional em rotação com olerícolas; Ds = densidade do solo; EA = estabilidade de agregados; DMP = diâmetro médio ponderado (máximo de 3,00 mm); MO = matéria orgânica do solo; CTC = capacidade de troca catiônica; CE = condutividade elétrica. Médias seguidas de letras minúsculas comparam profundidades e não diferem pelo teste Tukey, a 5%. Médias seguidas de letras maiúsculas comparam sistemas de produção e não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5%.

para ambas as profundidades avaliadas (Tabela 2). A Ds não diferiu nas profundidades de 0-0,1 m e 0,2-0,3 m, entre os sistemas Org, Conv1 e Conv 2 (Tabela 2). Esta falta de variação da Ds, em profundidades diversificadas nos sistemas de produção estudados, pode indicar similaridade quanto ao preparo do solo, com associação de adubação orgânica nas duas áreas de sistema de cultivo convencional. Araújo et al. (2007) chegaram a conclusão semelhante, em Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos, na Fazenda Água Limpa (DF).

Com relação aos sistemas produtivos avaliados, a Ds das unidades de produção Org e Conv1, à profundidade de 0-0,1 m, diferiu, significativamente, do Conv2. Já entre os sistemas convencionais (Conv1 e Conv2), a Ds variou, significativamente, nas duas profundidades avaliadas (Tabela 2). Provavelmente, o cultivo da unidade Conv2 com olerícolas diversificadas, anteriormente ao plantio do morango, com preparo do solo incluindo incorporação de restos culturais e adubações químicas e orgânicas, contribuiu para os menores valores de Ds.

Embora o uso intensivo do solo possa comprometer alguns dos seus atributos físicos, tal fato nem sempre acontece, uma vez que depende do manejo adotado durante o desenvolvimento das culturas. Pereira et al. (2010) concluíram que a densidade do solo não sofreu alteração, tanto para o plantio convencional como para a semeadura direta de milho com cobertura de crotalária (*Crotalaria juncea* L.), não diferenciando, portanto, estes dois sistemas de produção, para este atributo físico de qualidade dos solos. Kamiyama et al. (2011), comparando áreas sob sistema orgânico e convencional de produção de olerícolas, em duas regiões do Estado de São Paulo, não verificaram diferenças de Ds entre os sistemas, atribuindo tal fato à semelhança do tipo de preparo do solo, realizado com enxada rotativa.

Apesar de a menor densidade do solo ter ocorrido na área de produção Conv2, os valores apresentados pelas demais ficaram abaixo do limite crítico (ou de sustentabilidade) de  $1,0 \text{ Mg dm}^{-3}$ , preconizado na literatura para Latossolos tropicais de textura argilosa (Goedert 2005, Papa et al. 2011). Possivelmente, a incorporação em profundidade de elevadas quantidades de esterco, compostos orgânicos e/ou adubos verdes que ocorrem nestas unidades produtivas (Tabela 1), associada à forte estrutura dos Latossolos, pode ter contribuído para os valores de Ds encontrados, fato corroborado pelos maiores valores

de MO na unidade Conv2, em ambas as profundidades estudadas (Tabela 2).

Para a estabilidade de agregados (EA), apesar de a área sob manejo orgânico ter apresentado os maiores valores de DMP (2,47 mm à profundidade de 0-0,1 m e 2,30 mm a 0,2-0,3 m), esta não diferiu, estatisticamente, das áreas sob manejo convencional, à profundidade de 0-0,1 m (Tabela 2), concordando com os resultados obtidos por Kamiyama et al. (2011).

Já à profundidade de 0,2-0,3 m, o DMP foi significativamente superior no Org, em relação ao Conv2, mas não em relação ao Conv1 (Tabela 2). Maiores valores de DMP também foram observados por Lima et al. (2007) e Valarini et al. (2011), em áreas cultivadas sob manejo orgânico.

Embora o efeito mais nocivo sobre os agregados do solo seja atribuído aos sistemas de manejo que adotam revolvimento intensivo do solo (USDA 2008), este não foi constatado neste estudo, uma vez que os valores de DMP encontrados foram elevados e se aproximaram dos valores referenciais para Latossolos do Cerrado relatados por Papa et al. (2011). Podem ter contribuído, para isto, o grande aporte de carbono orgânico, que proporcionou aumento de MO, tal como demonstram os valores obtidos de MO nas unidades de cultivo convencionais (Tabela 2), a rotação de culturas e a cobertura do solo com mulching de polietileno, bem como o elevado teor de argila encontrado nos Latossolos das áreas, enriquecido em sesquióxidos de Fe e Al, na mineralogia da fração argila (Campos et al. 2010), que favorecem a agregação do solo.

A capacidade agregante do sistema radicular da gramínea *Brachiaria* spp., que ocupou, por 12 anos, a área sob o sistema Conv1, é um outro fator que pode ter contribuído para uma elevada DMP, nesta área, principalmente à profundidade subsuperficial de 0,2-0,3 m, na qual, praticamente, não houve alteração, em relação à profundidade superficial. Esta justificativa para os valores de DMP observados no Conv1 encontra apoio no estudo com gramíneas conduzido por Pignataro Netto et al. (2009), no qual não foram verificadas diferenças significativas no DMP, entre as profundidades avaliadas.

A agregação resulta do rearranjo, flocculação e cimentação das partículas do solo, sendo mediada pelo carbono orgânico do solo, biota, ponte iônica, argila e carbonatos (Bronick & Lal 2005). Semelhantemente ao que foi observado neste estudo (Tabela 3), Raij (1991), Bronick & Lal (2005) e Silva

(2010) verificaram que a EA apresentou correlação significativa ( $p < 0,01$ ) com os nutrientes  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , considerados, por estes autores, como agentes cimentantes importantes, para a manutenção da estabilidade estrutural do solo.

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 2), a matéria orgânica (MO) variou 49,0-53,1  $g\ kg^{-1}$ , à profundidade de 0-0,1 m, não diferindo, estatisticamente, entre os sistemas produtivos avaliados. Já para a profundidade de 0,2-0,3 m, a MO variou 35,8-46,72  $g\ kg^{-1}$ , sendo superior nas áreas sob manejo Conv2 e Org, que, por sua vez, não diferiram, significativamente, entre si. Os maiores teores de MO, nas áreas com o sistema Conv2 e Org, podem estar relacionados ao maior aporte de carbono orgânico via esterco, compostos orgânicos e restos vegetais de outras olerícolas e de adubos verdes. No caso do sistema Conv1, cuja área ficou ocupada, durante 12 anos, com pastagem sem qualquer manejo, possivelmente, a entrada de carbono orgânico via esterco, para a implantação do cultivo, e via biomassa da pastagem não foram suficientes para elevar o teor de MO ao patamar dos demais sistemas. De acordo com Oliveira et al. (2003) e Corrêa et al. (2007), a adubação química do solo e o manejo das forrageiras exploradas contribuem para melhorar a produtividade da pastagem.

O teor de MO foi, estatisticamente, diferente, entre as profundidades de 0-0,1 m e 0,2-0,3 m, para todas as áreas, o que pode ter resultado tanto da aplicação de esterco, compostos orgânicos e/ou adubos verdes, nestas unidades produtivas (Tabela 1), proporcionando incorporação mais superficial do carbono orgânico, como da influência das raízes do

morangueiro, na primeira profundidade avaliada. Pignataro Netto et al. (2009) também observaram diferenças para a MO, entre as profundidades avaliadas, com os maiores valores ocorrendo à profundidade de 0-0,05 m.

Os elevados valores obtidos para a MO demonstram haver semelhança entre os sistemas avaliados (Org, Conv1 e Conv2), para este indicador de qualidade do solo, discordando dos resultados obtidos por Reganold et al. (2010) e Kamiyama et al. (2011). Carneiro et al. (2009) constataram que os sistemas de manejo que têm promovido maiores adições de resíduos ao solo apresentaram maiores teores de carbono orgânico total, o que, também, pode ser justificado pelo fato de a proteção física da MO ser superior em Latossolos.

Os resultados para a MO encontrados neste estudo são, em sua maioria, considerados sustentáveis, de acordo com os níveis críticos de qualidade de solo, em Latossolos tropicais de textura argilosa, propostos por Goedert (2005) e Papa et al. (2011).

Para a capacidade de troca de cátions (CTC), os resultados demonstraram não haver diferenças significativas entre os sistemas avaliados, com exceção dos sistemas Conv2, à profundidade de 0-0,1 m, e Conv1, a 0,2-0,3 m. Contudo, verificou-se que houve diferença significativa entre as profundidades estudadas, para todos os sistemas (Tabela 2). Observaram-se, também, tendências similares na variação dos valores de CTC, com os teores de matéria orgânica (MO), ao longo dos sistemas produtivos e profundidades analisadas, corroboradas por uma elevada e significativa correlação ( $p < 0,01$ ) entre estes atributos (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos químicos, físicos e biológicos dos Latossolos das áreas de estudo (Brazlândia, DF, 2011).

Atributo <sup>(1)</sup>	pH	MO	CTC	V	K	P	$\beta$ -glicosidase	Fosfatase ácida	CE	Ds	Ca	Mg	H+Al
MO	ns												
CTC	-0.42**	0.81**											
V	0.53**	0.42**	ns										
K <sup>+</sup>	-0.51**	0.40**	0.55**	ns									
P	ns	0.59**	0.59**	0.48**	ns								
$\beta$ -glicosidase	ns	0.67**	0.75**	0.29*	ns	0.78**							
Fosfatase ácida	ns	ns	ns	ns	-0.30*	0.51**	0.51**						
CE	-0.74**	0.41**	0.67**	ns	0.63**	ns	0.32*	ns					
Ds	0.39**	ns	-0.30*	ns	-0.51**	ns	ns	ns	-0.52**				
Ca <sup>2+</sup>	ns	0.85**	0.92**	0.56**	0.41**	0.67**	0.72**	ns	0.49**	ns			
Mg <sup>2+</sup>	0.36**	0.58**	0.48**	0.76**	ns	0.82**	0.65**	0.40**	ns	ns	0.68**		
H+Al <sup>3+</sup>	-0.77**	0.28*	0.60**	-0.64**	0.46**	ns	0.31*	ns	0.69**	-0.37**	ns	-0.30*	
EA	ns	ns	ns	0.45**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.34*	0.46**	ns

Foram usadas todas as repetições das profundidades 0-0,1 m e 0,2-0,3 m ( $n = 54$ ). <sup>(1)</sup> MO: matéria orgânica do solo; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; CE: condutividade elétrica; Ds: densidade do solo; EA: estabilidade de agregados. \* e \*\*: significância a 5% e 1%, respectivamente; ns: não significativo.

Araújo et al. (2007) também constataram tendência semelhante. Os resultados e o comportamento da CTC, entre os sistemas orgânico e convencional de hortaliças obtidos por Valarini et al. (2011), também foram similares aos observados neste trabalho.

Em todas as áreas, os valores de CTC, à profundidade de 0-0,1 m, foram significativamente superiores àqueles encontrados a 0,2-0,3 m (Tabela 2). Infere-se, com isto, que os efeitos do manejo, durante a preparação dos canteiros (homogeneização) e, posteriormente, com os tratos culturais (adubações), foram mais pronunciados à profundidade superficial do solo. Pignataro Netto et al. (2009) também relataram que a maior quantidade de matéria orgânica na superfície pode ter contribuído para a ocorrência de uma CTC maior, à profundidade de 0-5 cm, em relação à de 5-20 cm, em áreas sob diferentes sistemas de manejo com gramíneas.

Ao contrário do que foi constatado neste estudo, Costa et al. (2006) e Araújo et al. (2007) não verificaram diferenças significativas nos valores de CTC entre as profundidades, para sistemas de produção em que houve revolvimento anual do solo.

Em estudo conduzido na Nova Zelândia, sobre a qualidade do solo em propriedades sob sistema de produção biodinâmico e convencional, Reganold et al. (1993) constataram que, em geral, a CTC foi superior nas áreas com sistema biodinâmico. Já Glover et al. (2000) não encontraram diferenças significativas da CTC entre sistemas de manejo convencional, integrado e orgânico, em pomares de maçã. Kamiyama et al. (2011) também não observaram diferenças significativas para este indicador, entre os sistemas orgânico e convencional de produção de hortaliças.

Os valores observados para a CTC, em todas as áreas, foram superiores ou ficaram próximos ao limite crítico considerado sustentável para Latossolos de textura argilosa, segundo Goedert (2005) e Papa et al. (2011).

Como a salinização dos solos pode ocorrer em função do excesso de fertilização, e a cultura do morango apresenta baixa tolerância ao excesso de sais, a condutividade elétrica foi avaliada neste trabalho como indicador químico de qualidade dos Latossolos estudados. Os resultados mostram que a condutividade elétrica do solo (CE) foi significativamente superior na área sob sistema convencional em rotação com olerícolas (Conv2), tanto à profundidade de 0-0,1 m como de 0,2-0,3 m (Tabela 2). Apesar de a área sob sistema orgânico (Org) ter apresentado valor superior para ambas as profundidades, em re-

lação à área sob sistema convencional após pastagem (Conv1), elas não diferiram entre si.

Glover et al. (2000) não encontraram diferenças significativas para a CE, entre os sistemas de produção orgânico e convencional de maçãs. No entanto, verificaram que o sistema de produção integrado apresentou CE significativamente superior aos demais sistemas (orgânico e convencional), para as amostras superficiais. Apesar das diferenças estatísticas, os autores não observaram efeitos prejudiciais ao crescimento ou produtividade das macieiras, para o sistema integrado, até porque a CE não atingiu o valor crítico considerado ( $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ ). Os Latossolos das unidades produtivas avaliadas também apresentaram este comportamento, com exceção do Conv2, em ambas as profundidades avaliadas, em que a CE apresentou valores superiores a  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ , que podem estar relacionados aos tratos culturais com elevada aplicação de fertilizantes.

Esta hipótese de a CE encontrada na área com sistema Conv2 ter sido afetada pelo uso de fertilizantes em excesso pode ser evidenciada pela correlação significativa da CE ( $p < 0,01$ ) (Tabela 3) com a CTC e com  $K^+$ . Segundo Sousa & Rein (2009), altas concentrações de adubos potássicos, decorrentes da aplicação de quantidades maiores, distribuídas em pequenos volumes de solo, favorecem a perda por lixiviação, além do risco de salinidade.

Valarini et al. (2007) verificaram que, em função da aplicação maciça de adubos minerais, os nutrientes  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$  e  $Mg^{2+}$  apresentaram teores bem acima da média recomendada para tomate, em sistemas convencionais, com reflexos na alta concentração de sais verificada pela condutividade elétrica (CE).

Embora o morango seja considerado uma planta sensível ao excesso de sais no solo (Karlidag et al. 2009), com valor crítico a partir de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$  (FAO 2002), não foram observados efeitos deletérios deste indicador sobre a produtividade da cultura do morango, nas áreas avaliadas, até mesmo naquela sob o sistema Conv2, na qual os valores chegaram a  $3,20 \text{ dS m}^{-1}$ , à profundidade de 0-0,1 m, e  $1,44 \text{ dS m}^{-1}$ , a 0,2-0,3 m.

De acordo com a Embrapa (2006), a CE capaz de interferir no desenvolvimento da maioria das culturas deve ser igual ou superior a  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , valor este não alcançado em nenhuma das áreas.

A atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase (BG) não diferiu, significativamente, entre os sistemas, à profundidade de 0-0,1 m, mas diferiu a 0,2-0,3 m,

no sistema convencional em rotação com olerícolas (Conv2), apresentando atividade superior aos demais (Conv1 e Org) (Tabela 2). Verificou-se que a atividade da BG variou significativamente entre as profundidades, para todas as áreas avaliadas, concordando com o estudo de Green et al. (2007), e que o seu comportamento foi bastante similar ao da matéria orgânica (MO) e CTC, sendo confirmado por uma correlação significativa ( $p < 0,01$ ) com estes atributos (Tabela 3). Tais correlações também foram observadas por Acosta-Martinez & Tabatabai (2000).

De acordo com Matsuoka et al. (2003), a entrada de matéria orgânica com maior proporção de C prontamente mineralizável, em sistemas cultivados, explicaria a maior atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase, já que ela atua sobre a celobiose, que é um dissacarídeo de rápida decomposição no solo.

Embora a  $\beta$ -glicosidase possa mostrar-se altamente correlacionada com o C orgânico do solo, este fato nem sempre acontece. Concordando, em parte, com os relatos de Green et al. (2007) e Stott et al. (2010), verificou-se que a BG, além de estar correlacionada com a MO, esteve fortemente correlacionada com o P do solo (Tabela 3), por ser este, segundo os autores, um nutriente limitante, nos Latossolos do Cerrado.

A atividade da fosfatase ácida (FA) foi elevada em todas as áreas, com destaque para a área sob sistema convencional após pastagem (Conv1), cuja atividade enzimática foi significativamente superior à dos demais sistemas, à profundidade de 0-0,1 m (Tabela 1). Já para a profundidade de 0,2-0,3 m, o sistema Conv1 diferiu do sistema orgânico (Org), mas este último não diferiu do sistema Conv2.

Contrariando a maioria dos relatos da literatura (Matsuoka et al. 2003, Mendes et al. 2003, Balota et al. 2004), verificou-se que houve correlação positiva significativa ( $p < 0,01$ ) do teor de P com a atividade da FA (Tabela 3). Segundo Conte et al. (2002), a alta afinidade do P com os colóides organominerais do solo favorece a adsorção dos ânions fosfato, reduzindo seu efeito inibidor sobre a atividade da FA. Com exceção da área sob sistema Conv1, a atividade da FA não diferiu entre as profundidades de 0-0,1 m e 0,2-0,3 m (Tabela 2), concordando com o relato de Green et al. (2007), de que o revolvimento do solo, durante o cultivo, reduz a estratificação da atividade enzimática no perfil do solo.

Em geral, é bem aceita a tese de que práticas agrícolas que promovem intenso revolvimento

do solo resultam em baixa atividade microbiana (Gupta & Germida 1988), porém, independentemente do sistema de manejo, os resultados deste estudo, para BG e FA, indicam elevada atividade biológica nos solos sob cultivo de morango. Os valores médios das atividades da BG e FA obtidos neste estudo foram superiores àqueles registrados em diversos estudos envolvendo áreas cultivadas na região do Cerrado (Matsuoka et al. 2003, Mendes et al. 2003, Chaer & Tótola 2007, Green et al. 2007, Silva et al. 2009).

## CONCLUSÕES

1. Os valores observados para os indicadores físicos, nos sistemas de produção de morango avaliados, foram, de maneira geral, considerados sustentáveis para Latossolos do Cerrado.
2. Os valores obtidos para a matéria orgânica e CTC foram similares e ficaram próximos ou foram superiores aos limites críticos estabelecidos para Latossolos do Cerrado.
3. O maior valor de condutividade elétrica foi registrado para o sistema convencional em rotação com olerícolas (Conv2), em função da elevada aplicação de fertilizantes, porém, não houve efeito deletério sobre a produtividade do morango, neste sistema produtivo.
4. A atividade enzimática do solo, medida pela  $\beta$ -glicosidase e fosfatase ácida, foi elevada em todos os sistemas, indicando que os solos das áreas apresentaram boa qualidade biológica.

## REFERÊNCIAS

- ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; TABATABAI, M. A. Enzyme activities in a limed agricultural soil. *Biology and Fertility of Soils*, New York, v. 31, n. 1, p. 85-91, 2000.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 1099-1108, 2007.
- BALOTA, E. L. et al. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agroecosystems. *Brazilian Journal of Microbiology*, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 300-306, 2004.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, Amsterdam, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.
- BUMAN, R. A. et al. Profit, yield, and soil quality effects of tillage systems in corn-soybean rotations. *Journal of*

- Soil and Water Conservation*, Ankeny, v. 59, n. 6, p. 260-270, 2004.
- CAMARGO FILHO, W. P.; CAMARGO, F. P. Análise da produção de morango dos Estados de São Paulo e Minas Gerais e do mercado da Ceagesp. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 39, n. 5, p. 42-50, 2009.
- CAMPOS, P. M. et al. A drenagem interna como fator de diferenciação dos latossolos do Distrito Federal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 45, n. 3, p. 306-314, 2010.
- CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 47-157, 2009.
- 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*, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, 2007.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 925-930, 2002.
- CORRÊA, L. A. et al. Efeito de fontes e doses de nitrogênio na produção e qualidade da forragem de capim-coastcross. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Brasília, DF, v. 36, n. 4, p. 763-772, 2007.
- COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, 2006.
- DORAN, J. W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, New York, v. 88, n. 2, p. 119-127, 2002.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. *Defining and assessing soil quality*. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 1-20.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). *Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas*. Rome: FAO, 2002. (Irrigation and drainage paper, 61).
- 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*, New York, v. 80, n. 1-2, p. 29-45, 2000.
- GOEDERT, W. J. Qualidade do solo em sistemas de produção agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., Recife, 2005. *Anais...* Recife: SBCS, 2005. 1 CD-ROOM.
- GREEN, V. S. et al. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian *Cerrado* Oxisol. *Soil & Tillage Research*, New York, v. 92, n. 1-2, p. 114-121, 2007.
- GUPTA, V. V. S. R.; GERMIDA, J. J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregation size classes as affected by cultivation. *Soil Biology & Biochemistry*, New York, v. 20, n. 6, p. 777-786, 1988.
- KAMIYAMA, A. et al. Percepção ambiental dos produtores e qualidade do solo em propriedades orgânicas e convencionais. *Bragantia*, Campinas, v. 70, n. 1, p. 176-184, 2011.
- KARLEN, D. L. et al. Crop rotation effects on soil quality at three northern corn/soybean belt locations. *Agronomy Journal*, Madison, v. 98, n. 3, p. 484-495, 2006.
- KARLIDAG, H.; YILDIRIM, E.; TURAN, M. Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 66, n. 2, p. 180-187, 2009.
- LIMA, H. V. et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semiárido cearense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1085-1098, 2007.
- LOPES, A. A. de C. et al. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. *Soil Science Society of America Journal*, New York, v. 77, n. 2, p. 461-472, 2013.
- MÄDER, P. et al. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, New York, v. 31, n. 5567, p. 1694-1697, 2002.
- MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003.
- MENDES, I. C. et al. *Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade?* Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. (Documentos, 246).

- MENDES, I. C. et al. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.
- OLIVEIRA, P. P. A.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, W. S. Eficiência da fertilização nitrogenada com ureia (<sup>15</sup>N) em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu associada ao parcelamento de superfosfato simples e cloreto de potássio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 613-620, 2003.
- PAPA, R. A. et al. Qualidade de Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos sob vegetação nativa de Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 564-571, 2011.
- PARDO, G. et al. Economic evaluation of cereal cropping systems under semiarid conditions: minimum input, organic and conventional. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 66, n. 5, p. 615-621, 2009.
- PEIXOTO, R. S. et al. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the *Cerrado*. *Antonie van Leeuwenhoek: International Journal of General and Molecular Microbiology*, Berlin, v. 98, n. 3, p. 403-413, 2010.
- PEREIRA, F. S. et al. Physical quality of an Oxisol cultivated with maize submitted to cover crops in the pre-cropping period. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 211-218, 2010.
- PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1441-1448, 2009.
- RAIJ, B. V. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Potafos, 1991.
- REGANOLD, J. P. et al. Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems. *PlosOne*, San Francisco, v. 5, n. 9, 2010. Disponível em: <<http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0012346>>. Acesso em: 05 abr. 2011.
- REGANOLD, J. P. et al. Sustainability of three apple production systems. *Nature*, New York, v. 410, n. 6831, p. 926-930, 2001.
- REGANOLD, J. P. et al. Soil quality and financial performance of biodynamic and conventional farms in New Zealand. *Science*, New York, v. 260, n. 5106, p. 344-349, 1993.
- SAS INSTITUTE. *SAS version 9.0*. Cary: SAS Institute, 2002.
- SILVA, A. S. *Análise morfológica dos solos e erosão*. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- SILVA, C. F. da et al. 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, L. G. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de Cerrado em plantio de espécies florestais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 44, n. 6, p. 613-620, 2009.
- SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A. *Manejo da fertilidade do solo para culturas anuais: experiências no Cerrado*. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, v. 126, p. 1-7, 2009.
- STOTT, D. E. et al. Evaluation of  $\beta$ -glucosidase activity as a soil quality indicator for the soil management assessment framework. *Soil Science Society of America Journal*, New York, v. 74, n. 1, p. 107-119, 2010.
- TABATABAI, M. A. *Soil enzymes*. In: WEAVER, R. W. et al. (Eds.). *Methods of soil analysis: part 2. Microbiological and biochemical properties*. Madison: SSSA, 1994. p. 775-833.
- TILMAN, D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, New York, v. 418, n. 6898, p. 671-677, 2002.
- TREWAVAS, A. A critical assessment of organic farming-and-food assertions with particular respect to the UK and the potential environmental benefits of no-till agriculture. *Crop Protection*, New York, v. 23, n. 9, p. 757-781, 2004.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). *Soil quality indicators: aggregate stability*. Washington, DC: USDA, 2008.
- VALARINI, P. L. et al. Análise integrada de sistemas de produção de tomateiro com base em indicadores edafobiológicos. *Horticultura Brasileira*, Vitória da Conquista, v. 25, n. 1, p. 60-67, 2007.
- VALARINI, P. L. et al. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. *Horticultura Brasileira*, Vitória da Conquista, v. 29, n. 4, p. 485-491, 2011.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.
- YOUKER, R. E.; MCGUINNESS, J. L. A short method of obtaining mean weight-diameter values of aggregate analyses of soils. *Soil Science*, Philadelphia, v. 83, n. 4, p. 291-294, 1957.