



ARTIGO ORIGINAL

Michele Ribeiro Ramos¹
Nerilde Favaretto²
Alexandre Uhlmann^{1*}
Jeferson Dieckow²
Fabiane Vezzani²
Luciano de Almeida²

¹Embrapa Florestas, Centro Nacional de Pesquisa em Florestas – CNPF, Colombo, PR, Brasil

²Universidade Federal do Paraná – UFPR, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Curitiba, PR, Brasil

Autor Correspondente:

*E-mail: alexandre.uhlmann@embrapa.br

PALAVRAS-CHAVE

Manejo do solo
Sistema conservacionista
Revolvimento do solo
Qualidade física do solo

KEYWORDS

Soil management
Conservation system
Soil disturbance
Soil physical quality

Produção de hortaliças no sistema orgânico: efeito nos atributos físicos do solo

Vegetable production under the organic system: effects on soil physical attributes

RESUMO: O uso intensivo das terras, comum na produção de hortaliças, tem causado a degradação da qualidade física do solo, estando intensamente relacionada com as práticas de cultivos adotadas nesses sistemas produtivos. Este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações dos atributos físicos do solo em cultivo de hortaliças no sistema orgânico, usando como comparação o sistema convencional e o sistema sob floresta (tratamento referência). O estudo foi realizado no município de Colombo – PR em encostas agrícolas (sub-bacias) com manejo do solo e das culturas conduzido pelos agricultores. Amostras de solo (classificado como Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico) foram coletadas nas profundidades de 0-20 cm para avaliação da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, diâmetro médio de agregados e condutividade hidráulica saturada. A densidade e porosidade do solo no sistema orgânico foi diferente do sistema sob floresta. Em contrapartida, para o diâmetro médio de agregados e condutividade hidráulica saturada, o sistema orgânico foi semelhante ao sistema sob floresta. De um modo geral, os resultados sugerem que o sistema orgânico apresenta melhor qualidade física que o sistema convencional no que se refere à estabilidade dos agregados e condutividade hidráulica, embora não apresente diferenças em relação à densidade e porosidade. As diferenças texturais entre as áreas cultivadas podem ter determinado melhor a qualidade física do solo sob sistema convencional (textura média) em relação ao sistema orgânico (textura argilosa).

ABSTRACT: The intensive use of soils, quite usual in vegetable production, has caused the degradation of soil physical quality, which is strongly related to practices adopted in these production systems. This work aimed to evaluate the changes in physical attributes in growing vegetables under the organic system, compared with the conventional and forest systems (reference treatment). The study was carried out in the municipality of Colombo, Parana state, southern Brazil, in agricultural landscapes submitted to soil and crop management by farmers. Soil samples (Haplic Cambisol) were collected at 0-20 cm depth for assessment of soil bulk density, total porosity, macro and microporosity, aggregate stability, and saturated hydraulic conductivity. Soil bulk density and porosity were different in the organic and forest systems, but the mean diameter of aggregates and hydraulic conductivity were similar in both systems. Generally speaking, these results suggest that the organic system presents better soil physical quality than the conventional system, as suggested by the results found for soil aggregate stability and hydraulic conductivity, although no differences were found between soil bulk density and porosity. The textural differences between the cultivated areas may have determined the better soil physical quality under the conventional system (medium texture) in relation to the organic system (clayey texture).

Recebido: 11 jun. 2014

Aceito: 14 nov. 2014

1 Introdução

O uso e manejo do solo altera a qualidade dos atributos físicos (Silva et al., 2006), químicos e biológicos do solo (Dufranc et al., 2004). Áreas agrícolas manejadas convencionalmente, de um modo geral, são as que apresentam as piores condições, devido principalmente ao revolvimento intensivo do solo (Derpsch et al., 1991).

Na busca de sistemas de produção agrícola baseados nos princípios de sustentabilidade, destaca-se o sistema de cultivo orgânico (Gomiero et al., 2011), que se caracteriza pela diversidade de espécies, redução do revolvimento do solo e não utilização de fertilizantes minerais e agrotóxicos. No Brasil, o Estado do Paraná se destaca na produção orgânica principalmente de hortaliças (Hamerschmidt et al., 2000), sendo o município de Colombo um dos principais produtores de hortaliças convencionais e orgânicas da Região Metropolitana de Curitiba.

A aplicação de resíduos orgânicos de origem animal, prática comum na produção de hortaliças, mesmo em sistema de produção convencional, tem como finalidade principal suprir as necessidades nutricionais da planta (Eghball et al., 2002). No entanto, além de melhorar a qualidade química do solo, traz benefícios à qualidade física e biológica (Gomiero et al., 2011) devido, principalmente, ao aporte de carbono ao sistema. O aumento da capacidade de infiltração de água (Mellek et al., 2010), devido à melhoria da estrutura do solo, contribui na redução de processos erosivos que levam à contaminação da água por sedimentos e nutrientes (Silveira et al., 2011; Timofiecsyk et al., 2012) e, por consequência, melhora a qualidade da água da produção agrícola no sistema hídrico.

Sistemas orgânicos, de um modo geral, se caracterizam pela maior diversidade de culturas, o que implica em maior complexidade ecológica. A maior diversidade de espécies vegetais, além de adicionar carbono, pela maior produção de biomassa aérea e radicular, beneficia os micro-organismos, afetando diretamente a agregação e conseqüentemente a qualidade dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Vezzani & Mielniczuk, 2009; Gomiero et al., 2011). Solos sob cultivo orgânico apresentam melhores condições físicas e são menos propensos à erosão, contribuindo desta forma com a melhoria da qualidade da água (Evanylo et al., 2008).

Acredita-se que o sistema de produção orgânica apresenta melhor qualidade física do solo quando comparado com o sistema convencional, e que ambos apresentam qualidade

inferior à área sob floresta. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do sistema orgânico de produção de hortaliças nos atributos físicos da camada superficial do solo, quando comparado com o sistema de cultivo convencional e o sistema sob floresta (tratamento referência).

2 Material e Métodos

O estudo foi realizado no ano de 2008, em três encostas, sendo que as encostas sob floresta e cultivo convencional estão na mesma propriedade (25° 15' 42,63" S, 49° 14' 16,64" O; 25° 15' 43,90" S, 49° 14' 16,69" O, respectivamente) e a encosta sob cultivo orgânico em outra propriedade vizinha (25° 15' 39,12" S, 49° 14' 18,79" O); todas a 1.027 metros de altitude, situadas na bacia hidrográfica do rio Campestre, município de Colombo, PR. O clima da região é caracterizado como subtropical úmido mesotérmico (Cfb), pela classificação de Köppen, e a vegetação original é a Floresta Ombrófila Mista. A média anual de precipitação é de 1400 a 1600 mm.

A horticultura no modelo agricultura familiar é a mais importante na região, predominando o sistema de cultivo convencional. No entanto, muitos produtores encontram-se no processo de transição do sistema convencional para o orgânico. Desta forma, foram selecionadas três encostas: duas com produção de hortaliças, uma no sistema orgânico e uma no sistema convencional e outra sob floresta secundária (tratamento referência). Estas encostas foram selecionadas por apresentar o máximo de similaridades quanto ao uso, tipo de solo e ainda forma de declive, mas algumas diferenças foram inevitáveis, como o mesmo tamanho das áreas e mesma classe textural, considerando que se trata de um estudo em área de produtor e em escala de microbacia. As principais características gerais dos três sistemas estão sumarizadas na Tabela 1 e a caracterização dos atributos químicos e granulometria encontram-se na Tabela 2.

Os solos das encostas foram classificados como Cambissolo Háplico Ta Distrófico Típico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006).

Foram coletadas três amostras indeformadas (anéis volumétricos de 4 x 3,5 cm) na profundidade de 0-20 cm em três pontos de cada sistema, totalizando 27 amostras (nove amostras para cada sistema); sendo todas as áreas menos de 0,4 hectare. As amostras foram coletadas entre as linhas de hortaliças (sistemas agrícolas) e entre as árvores (sistema floresta). Determinou-se a densidade do solo,

Tabela 1. Características gerais das áreas cultivadas (sistema orgânico e convencional) e do sistema sob floresta secundária, Colombo, PR.

Table 1. General characteristics of cultivated areas (organic and conventional systems) and secondary forest system, Colombo, PR.

Sistema	Área (ha)	Declive (%)	Adubação	Preparo do solo	Manejo	Espécie (s) cultivadas
Orgânico	0,32	18	Cama de aves	Tração animal	Plantio manual de várias espécies de inverno e verão em faixas com larguras de 8 m	Alface (<i>Lactuca sativa</i>), beterraba (<i>Beta vulgaris</i>), acelga (<i>Brassica oleraceae</i>)
Convencional	0,30	12	NKP mineral + cama de aves	Mecanizado	Plantio manual de uma única espécie de verão na área total	Alface (<i>Lactuca sativa</i>)
Floresta	0,16	21	-	-	-	Várias espécies de floresta secundária

densidade de partículas, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados úmidos.

A densidade de partículas foi determinada pelo método do álcool etílico e a densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 1997). A porosidade total foi calculada com base na densidade do solo e na densidade de partículas ($PT=1 - Ds/Dp$). A microporosidade foi determinada pela mesa de tensão (6 kPa) e a macroporosidade pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (Embrapa, 1997).

A condutividade hidráulica foi determinada via permeâmetro de carga constante após saturação do solo de acordo com metodologia preconizada por Embrapa (1997).

Para a estabilidade de agregados via úmida (Embrapa, 1997), foram amostrados blocos indeformados nas mesmas profundidades e mesmo perfil da coleta dos anéis volumétricos. As amostras de solo foram peneiradas em malha de 8 mm, sendo então umedecidas por capilaridade antes de serem adicionadas ao jogo de peneiras (4 mm; 2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,25 mm) e submetidas à agitação mecânica com água durante 15 minutos. O diâmetro médio ponderado foi calculado de acordo com Embrapa (1997).

Os atributos físicos do solo (densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade de partícula, diâmetro médio de agregados e condutividade hidráulica) foram submetidos à análise de componentes principais com o objetivo de resumir a informação contida na matriz de dados originais. Esta análise foi conduzida através da extração de autovalores e autovetores de matriz de correlações ($p \times p$) entre as variáveis de solos presentes na matriz original constituída por sete descritores (densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade de partícula, diâmetro médio de agregados e condutividade hidráulica) e 21 observações (amostras), pois, em seis amostras, não foi possível medir alguns atributos e foram retiradas.

A quantidade de informação extraída de cada componente principal foi medida através dos autovalores, assumindo como informativos aqueles com valor maior que um. Os escores dos componentes principais que atenderam a este critério foram submetidos aos testes de médias e, como estes dados não tiveram obediência aos pressupostos dos testes paramétricos, permutações Monte Carlo (9.999 permutações) foram feitas previamente ao teste de médias através do programa Past 3.x (Hammer et al., 2001). Para aceitar ou rejeitar a hipótese nula, foi considerado um nível de significância de 5%.

Desta maneira, assume-se que os escores dos componentes principais representam os dados originais, mas de um modo resumido, condensando a informação original em uma nova combinação de dados que está fortemente associada ao determinado conjunto das variáveis originais. As associações entre os componentes principais e as variáveis originais foram mensuradas através do coeficiente de correlação de Pearson. Estes procedimentos foram desenvolvidos através dos programas Statistica 7.0 (Statsoft, 2004) e Canoco 4.5 (Ter Braak & Smilauer, 2002).

3 Resultados e Discussão

Três componentes principais tiveram seus autovalores maiores que um, mas somente dois foram usados, devido à baixa correlação do terceiro componente principal com as variáveis. Mesmo assim, os dois primeiros componentes principais agregaram um grande percentual (70,6%) da variância original (Tabela 3).

O eixo 1 da coordenada principal (CP) foi fortemente correlacionado com as variáveis macroporosidade ($r = 0,94$), porosidade total ($r = 0,88$), microporosidade ($r = -0,78$) e densidade do solo ($r = -0,89$). Por sua vez, o eixo 2 da CP mostrou-se relacionado com as variáveis diâmetro médio ponderado dos agregados ($r = -0,86$), condutividade hidráulica ($r = -0,68$) e, menos significativamente, com a densidade de partículas ($r = -0,66$), conforme Tabela 3 e Figura 1. Portanto, pode-se interpretar o primeiro componente principal como aquele que resume as informações da porosidade e densidade do solo, enquanto o segundo componente explica o tamanho dos agregados, condutividade hidráulica e menos fortemente a densidade de partículas.

A aplicação dos testes de médias aos escores do primeiro componente principal resultou em diferenças significativas ($p > 0,05$) somente entre os solos sob sistema orgânico e sob floresta. Depreende-se, portanto, que o solo sob sistema orgânico tendeu a apresentar maior densidade, menor porosidade total, menor macroporosidade e maior microporosidade se comparado com o sistema florestal, embora não difira significativamente do sistema convencional (Figura 2). É necessário, contudo, observar os maiores teores de argila (500 g kg^{-1}) verificados no sistema orgânico quando comparados ao solo sob o sistema convencional (280 g kg^{-1}) e sob a floresta nativa (250 g kg^{-1}) (Tabela 2).

No entanto, a maior densidade do solo do sistema orgânico em relação ao sistema sob floresta não pode ser atribuída à diferença de granulometria, considerando que, de modo geral,

Tabela 2. Atributos químicos e granulometria do solo (0-20 cm) dos sistemas de produção de hortaliças (convencional - C e orgânico - O) e do sistema sob floresta (F), Colombo, PR.

Table 2. Chemical attributes and soil particle size (0-20 cm) of vegetable production system (conventional - C and organic - O) and forest system (F), Colombo, PR.

Sistemas	pH SMP	Al	H+Al	Ca	Mg	K	P	C	CTC	argila	silte	areia
		cmol _c dm ⁻³						mg dm ⁻³	g dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	g kg ⁻¹	
O	6,1	0,0	4,6	7,7	2,2	1,4	36,2	31,7	15,9	500	440	60
C	5,4	1,1	7,8	4,2	1,2	0,8	136,5	30,5	14,0	280	370	350
F	4,9	3,8	11,3	2,5	1,4	0,2	3,5	26,9	15,4	250	240	410

Tabela 3. Autovalores, percentual da variância explicada (individual e acumulada) em cada componente principal (CP) e coeficientes de correlação (r) entre os autovalores de cada componente principal e os atributos físicos originais.

Table 3. Eigenvalues, percentage of variance explained (individual and accumulated) in each principal component (PC), and correlation coefficients (r) between the eigenvalues of each main component and original physical attributes.

	CP 1	CP 2	CP 3
Autovalores	3,27	1,68	1,06
% da variação explicada	46,60	23,90	15,20
Individual			
Acumulada	46,60	70,60	85,80
Correlações (r):	0,23	-0,68	0,57
Condutividade hidráulica			
Densidade do solo	-0,89	-0,19	-0,34
Densidade da partícula	-0,30	-0,66	-0,41
Porosidade total	0,88	-0,03	0,22
Microporosidade	-0,78	-0,03	0,53
Macroporosidade	0,94	0,01	-0,33
Diâmetro médio dos agregados	0,25	-0,86	-0,09

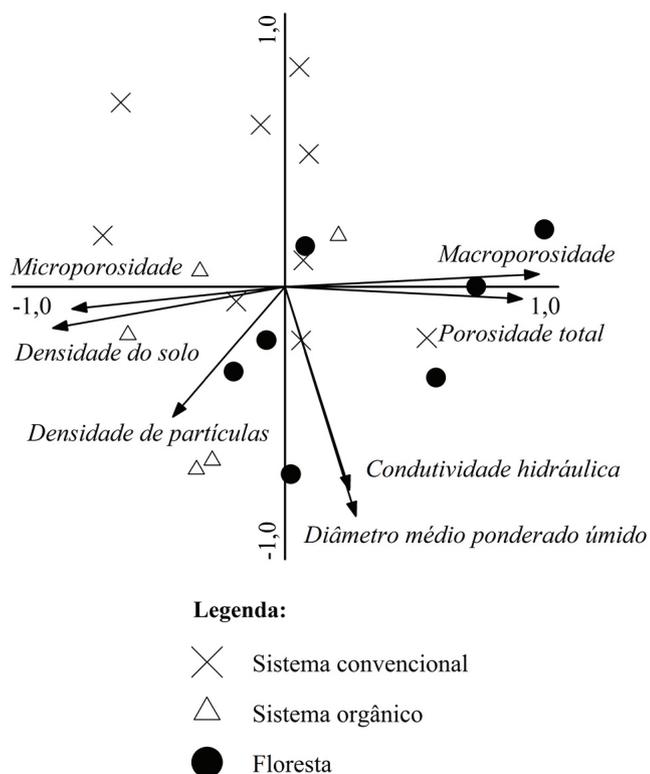


Figura 1. Diagrama de ordenação resultante da aplicação da análise de componentes principais aos dados de sete atributos físicos do solo nos sistemas de produção de hortaliças (orgânico e convencional) e no sistema sob floresta.

Figure 1. Ordination diagram resulting from the application of principal component analysis to data from seven soil physical attributes in the vegetables production systems (organic and conventional) and forest system.

solos argilosos apresentam naturalmente menor densidade e maior porosidade total que solos arenosos (USDA, 1999). No entanto, solos argilosos são mais propensos à redução da porosidade total e aumento de densidade quando submetidos ao uso intensivo do solo. Apesar disso, ele apresenta-se semelhante ao sistema convencional (menor teor de argila e uso de maquinários no revolvimento do solo), portanto, esperar-se-ia um solo em pior estado de degradação.

Em contrapartida, os mesmos testes aplicados aos escores do segundo componente principal indicam que no sistema convencional os valores de diâmetro médio dos agregados e a condutividade hidráulica são menores, quando comparados aos demais sistemas. Esse resultado indica que o revolvimento intensivo do solo com o uso de maquinário está prejudicando a formação de agregados estáveis e diminuindo a infiltração de água no solo, aumentando a chance de ocorrerem fenômenos erosivos. Esta informação foi verificada no trabalho de erosão nas mesmas encostas (dados não publicados) e ainda maior contaminação da água perdida por escoamento superficial (Ramos et al., 2014).

Estas afirmações são mais bem compreendidas quando observamos o diagrama de ordenação (Figura 1) no qual a nuvem de pontos que representa a floresta está distribuída essencialmente no quadrante (ou próximo dele) relacionado com atributos que denotam maior macroporosidade, porosidade total, diâmetro médio dos agregados, condutividade hidráulica e menor densidade do solo e microporos. Embora possuam maior densidade e maior microporosidade, o solo do sistema orgânico tende a se aproximar do solo sob floresta no que diz respeito ao diâmetro médio dos agregados e condutividade hidráulica (Figura 2).

Existem evidências das diferenças entre o sistema convencional e a floresta, mesmo sendo ambos de textura média (Tabela 2). Quanto ao sistema orgânico, principalmente por apresentar solo de textura argilosa, esperavam-se menores valores de densidade, porém o uso intensivo em solos argilosos, mesmo num sistema conservacionista como no caso do sistema orgânico, pode causar a redução da porosidade total e consequentemente o aumento da densidade do solo.

Apesar de apresentar maior densidade, o sistema orgânico não apresentou indicativo de compactação. Os valores de densidade do solo considerados limitantes para o crescimento de plantas (culturas anuais) pelo USDA (1999) são $> 1,39 \text{ Mg m}^{-3}$ para textura argilosa, $> 1,49 \text{ Mg m}^{-3}$ para argilo-arenosa, $> 1,60 \text{ Mg m}^{-3}$ para franco-argilo-arenosa, franco e franco-arenosa e $> 1,69 \text{ Mg m}^{-3}$ para arenosa. Desta forma, os solos em todos os sistemas não são considerados limitantes ao crescimento de raízes.

Sistemas com vegetação nativa, em geral, apresentam menores densidades de solo, quando comparadas a sistemas de uso agrícola (Spera et al., 2004). Esse resultado pode ser justificado, devido principalmente aos teores de matéria orgânica do solo, que apresenta um papel importante no aumento da porosidade total (Barbosa et al., 2007), enquanto que nos sistemas cultivados, o aporte de matéria orgânica não favoreceu a diminuição da densidade no sistema orgânico, mas esse fato já foi justificado pela diferença textural entre eles.

No entanto, Lima et al. (2007) não encontraram diferenças significativas na densidade dos solos sob cultivo orgânico

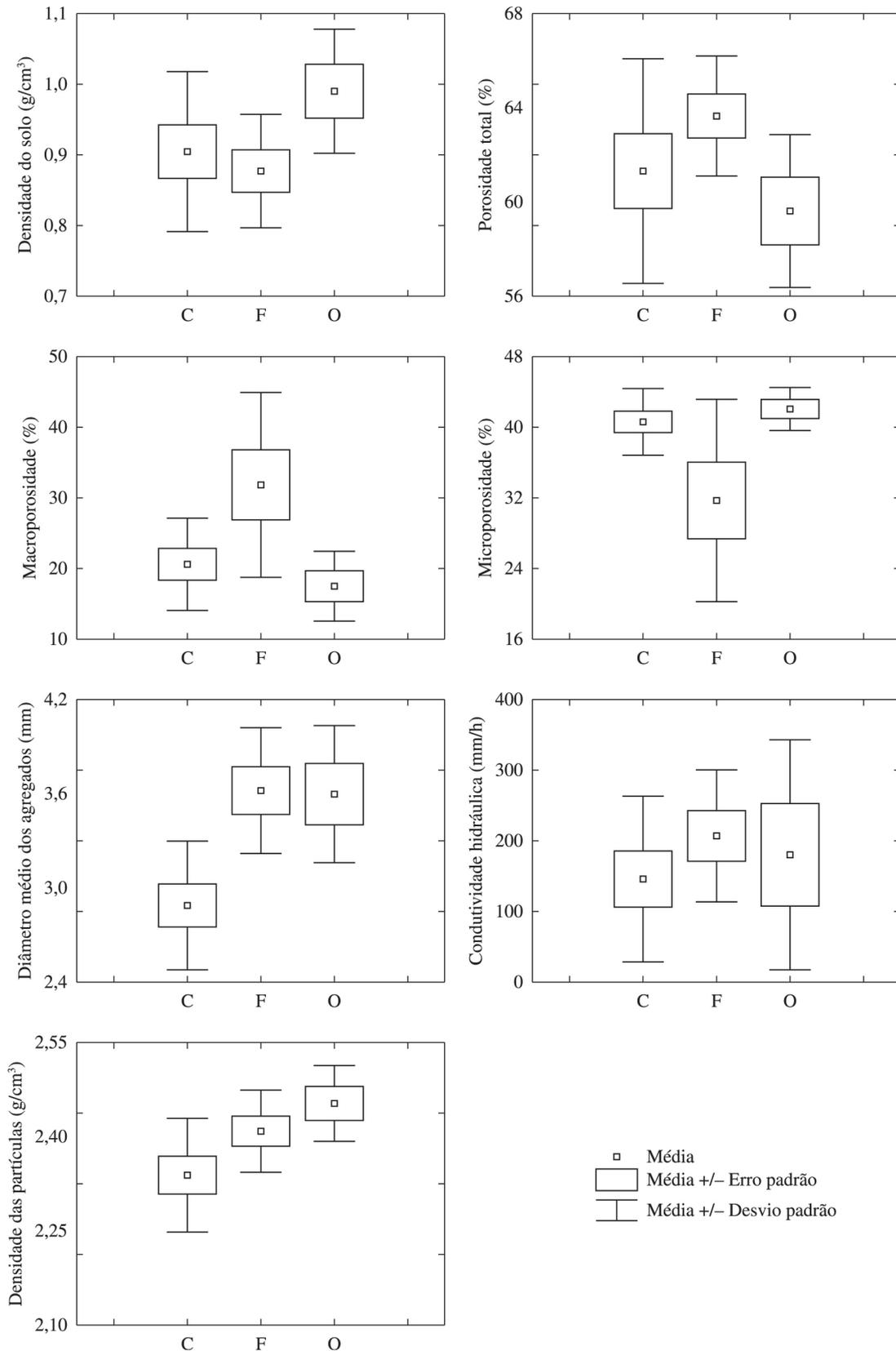


Figura 2. Média, erro padrão e desvio padrão dos atributos físicos do solo nos três sistemas de produção (C – convencional; F – Floresta; O – orgânico), Colombo, PR.

Figure 2. Mean, standard error, and standard deviation of soil physical properties in the three production systems (C - conventional, F - Forest, O - organic), Colombo, PR.

quando comparada com os solos sob sistema convencional, em nove áreas com texturas variando entre franco-arenosa a franco-argilo-arenosa cultivadas com espécies anuais no município de Tauá-CE. Porém, Morris (2007) salienta que muitas vezes é difícil encontrar diferenças nos atributos físicos dos solos e que os atributos biológicos são mais sensíveis a esta detecção. O que confirma que a diferença na densidade pode ser atribuída somente à diferença de textura.

Os teores de matéria orgânica nos sistemas cultivados foram maiores que no sistema florestal (Tabela 3), certamente devido ao uso de adubação orgânica (cama de aves). A matéria orgânica do solo é considerada um dos principais agentes de estabilização de agregados. Além da matéria orgânica, a densidade de raízes também melhora a agregação do solo (Vezzani & Mielniczuk, 2009). Muito provavelmente, esses fatores justificam os maiores valores de diâmetro médio ponderado encontrados no solo sob floresta, sendo estes muito próximos aos valores do solo no sistema orgânico, conforme ilustram os dados contidos na Figura 2.

Em contraposição, o preparo mecanizado no sistema convencional pode ter favorecido a maior desestruturação dos agregados do solo, provocando diferenças entre esse sistema e os demais. Resultado semelhante foi encontrado por Lima et al. (2007), no qual apenas o diâmetro médio ponderado mostrou-se mais eficiente em mostrar as diferenças entre os solos sob cultivos orgânico e convencional. Valarini et al. (2011) também verificaram, para o mesmo atributo, diferenças significativas entre os solos de pequenas propriedades familiares com cultivo de hortaliças no sistema convencional e orgânico. Este parâmetro, por sua vez, se relaciona com resistência dos agregados à ruptura por agentes erosivos e uso de maquinários.

Porém, este resultado merece ser discutido, considerando as implicações que o manejo feito com máquinas agrícolas traz à resiliência dos solos. Silva & Kato (1997) justificam que o revolvimento do solo com maquinários contribui para o aumento do volume de microporos, devido principalmente à quebra dos agregados, que provoca um efeito de pulverização do solo, muito comum em áreas que são aradas e gradeadas, e causa o selamento superficial do solo, afetando significativamente a condutividade hidráulica.

Assis & Lanças (2005) encontraram valores muito baixos de infiltração de água no solo e associaram o resultado ao selamento superficial, devido à grande quantidade de partículas finas produzidas pelo revolvimento, nos primeiros 20 cm de profundidade. Silva & Kato (1997) observaram diminuição na condutividade hidráulica mediante o selamento superficial, especialmente em áreas com preparo convencional do solo.

Então, embora o solo sob sistema orgânico tenha apresentado características físicas semelhantes às observadas no solo sob manejo convencional, ainda assim deve-se considerar que muito provavelmente isto se deva ao manejo intensivo em solos de textura argilosa, os quais são mais propensos à compactação do que solos arenosos. Por outro lado, boa parte das características positivas do sistema orgânico deve ser atribuída à incorporação de elevados conteúdos de matéria orgânica ao mesmo tempo que seu manejo parece impactar menos a estrutura dos agregados e favorecer a infiltração da água.

4 Conclusões

O sistema orgânico, de modo geral, apresentou melhor qualidade física do solo, quando comparado ao sistema convencional, com maiores valores quanto à estabilidade dos agregados e condutividade hidráulica, porém apresentou maior densidade de solo e menor volume de poros, comparado ao sistema sob floresta.

Referências

- ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e floresta nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 4, p. 515-522, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000400004>
- BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Efeito do lodo de esgoto em propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutroférico. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 28, n. 1, p. 65-70, 2007. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2007v28n1p65>
- DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Londrina: GTZ-IAPAR, 1991. 272 p.
- DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 3, p. 505-517, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000300012>
- EGHBALL, B.; WIENHOLD, B. J.; GILLEY, J. E.; EIGENGERG, R. A. Mineralization of manure nutrients. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 57, p. 470-473, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 272 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 412 p.
- EVANYLO, G.; SHERONY, C.; SPARGO, J.; STARNER, D.; BROSIUS, M.; HAERING, K. Soil and water environmental effects of fertilizer-, manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 127, p. 50-58, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2008.02.014>
- GOMIERO, T.; PIMENTEL, D.; PAOLETTI, M. G. Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 30, n. 1-2, p. 95-124, 2011. <http://dx.doi.org/10.1080/07352689.2011.554355>
- HAMERSCHMIDT, I.; SILVA, J. C. B. V.; LIZARELLI, P. H. *Agricultura orgânica*. Curitiba: EMATER-PR, 2000. 65 p.

- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.
- LIMA, H. V.; OLIVEIRA, T. S.; OLIVEIRA, M. M.; MENDONÇA, E. S.; LIMA, P. J. B. F. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semi-árido cearense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 5, p. 1085-1098, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000500024>
- MELLEK, J. E.; DIECKOW, J.; SILVA, V. L.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F. M.; SOUZA, J. L. M. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, v. 110, n. 1, p. 69-76, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2010.06.005>
- MORRIS, M. L. M. *Avaliação da qualidade do solo em sistema orgânico de cultivo*. 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias)-Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- RAMOS, M. R.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; DEDECEK, R. A.; VEZZANI, F.; DE ALMEIDA, L.; SPERRIN, M. Soil, water and nutrient loss under conventional and organic vegetable production managed in small farms versus forest system. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, v. 115, n. 1, p. 31-40, 2014.
- SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 3, p. 579-585, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000300007>
- SILVA, C. L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 32, n. 2, p. 213-220, 1997.
- SILVEIRA, F. de M.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; PAULETTI, V.; VEZZANI, M. F.; SILVA, E. B. Dejeito líquido bovino em plantio direto: perda de carbono e nitrogênio por escoamento superficial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 1, p. 1759-1767, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000500030>
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000300014>
- STATSOFT. *Statistica (data analysis software system), version 7*. 2004.
- TER BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. *CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)*. Ithaca: Microcomputer Power, 2002. 500 p. PMCid:PMC1462308
- TIMOFIECSYK, A.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J. Perdas de carbono e nitrogênio com aplicação de dejeito líquido bovino em Latossolo muito argiloso sob plantio direto e chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 6, p. 1924-1930, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000600026>
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. *Soil quality test kit guide*. Washington: USDA-ARS-Soil Quality Institute, 1999. 82 p.
- VALARINI, P. J.; OLIVEIRA, F. R. A.; SCHILICKMANN, S. F.; POPPI, R. J. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. *Horticultura Brasileira*, v. 29, n. 4, p. 485-491, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362011000400007>
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000400001>

Contribuição dos autores: O trabalho é parte da dissertação de mestrado do primeiro autor (Michele Ribeiro Ramos), ou seja, participou de todas as etapas para a realização deste trabalho. Nerilde Favaretto foi a orientadora do primeiro autor, contribuindo com a ideia e objetivos do trabalho, orientou, ajudou na revisão dos dados e discussão dos resultados. Alexandre Uhlmann ajudou na identificação das espécies da encosta com florestas, auxiliou na discussão, escrita científica, desenvolvimento e análise dos dados e ainda fez a revisão do texto e auxiliou na interpretação dos resultados. Jeferson Dieckow foi co-orientador da dissertação e auxiliou no laboratório e nas correções do artigo. Fabianne Vezzani auxiliou na escrita científica e na discussão dos resultados. Luciano de Almeida fez contato e aproximação com os agricultores a campo, para possibilitar a realização deste trabalho.

Agradecimentos: Ao professor Valmiqui Costa Lima pela ajuda na classificação dos solos das áreas estudadas. À Universidade Federal do Paraná, através do programa de pós-graduação em Ciência do Solo, à Embrapa Florestas pelo fornecimento de material e disponibilização dos laboratórios e à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de pós-graduação ao primeiro autor.

Fonte de financiamento: A Universidade Federal do Paraná, através do programa de pós-graduação em Ciência do Solo e a Embrapa Florestas pelo fornecimento de material e disponibilização dos laboratórios, além da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo fornecimento da bolsa de pós-graduação.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver nenhum tipo de conflito de interesse.