
ATRIBUTOS DE QUALIDADE DE SOLOS SOB DOIS DIFERENTES

TIPOS DE MANEJO NO MUNICÍPIO DE IBIÚNA/SP, BRAZIL

Luiz Augusto Manfré, Alexandre Marco da Silva e Rodrigo Custódio Urban

RESUMO

A atividade agrícola tem consequências diretas sobre a qualidade do solo e dos corpos d'água. Desta forma, avaliar os impactos ambientais desta atividade econômica imprescindível, por meio de análises de atributos de solos é essencial para a proposição de alternativas. O objetivo do presente trabalho foi efetuar uma análise comparativa da qualidade do solo sob diferentes coberturas e manejos, buscando evidenciar possíveis diferenças na qualidade dos solos sob manejo convencional e orgânico. O estudo foi desenvolvido em uma bacia hidrográfica do município e Ibiúna, SP, Brasil, importante abastecedor de produtos agrícolas para a região metropolitana de São Paulo. Foram coletadas 100 amostras, 20 em cada tipo de uso do solo: reflorestamento, vegetação nativa, pastagem, cultivo

convencional e cultivo orgânico. Foram analisados os atributos: resistência do solo ao penetrômetro, ph (em água e KCl), condutividade elétrica, densidade aparente, densidade real, porosidade, cor dos solos, composição granulométrica e percentuais de carbono e nitrogênio. Os dados foram analisados estatisticamente, buscando encontrar diferenças significativas. Os resultados das análises de solo apontaram semelhança entre os cultivos orgânico e convencional, não havendo distinção estatística. No entanto, o cultivo orgânico apresentou maior similaridade com os solos de vegetação quanto ao percentual de carbono e nitrogênio. Desta forma, inicia-se a discussão sobre um tema pouco explorado, sendo que os resultados obtidos devem ser averiguados em novos estudos.

Introdução

A quantidade de matéria orgânica exerce influência diretamente na estrutura do solo, pois interfere na estabilidade dos agregados que formam. Da mesma forma, a porosidade está relacionada também às condições da estrutura dos solos. Relaciona-se também com a permeabilidade hídrica, pois quanto maior o número de poros, maior a infiltração de água no solo e menor o escoamento superficial (Palm *et al.*, 2007).

Em sistemas convencionais de preparo de solo, os fatores positivos adquiridos após o revolvimento do solo se perdem rapidamente após a ocorrência de algumas precipitações intensas, as quais desagregam o solo (Cavenage *et al.*, 1999; Leite *et al.*, 2004). Porém, a incorporação de resíduos culturais pode reduzir as

perdas de solo nos preparos mais intensos, pois a disposição do resíduo no solo e o efeito biológico devido à atividade microbiana agem na estrutura do solo (Bertol, 1994).

Não existe um indicador mágico ou ideal que descreva com perfeição a qualidade de um solo em determinado momento. Porém análises sobre qualidade do solo podem feitas usando um conjunto de variáveis, que poderão ser de natureza física, química, hidráulica e/ou biológica e que destacam respostas em relação ao manejo do solo, identifica as variáveis fundamentais que expressam o funcionamento e que são úteis para explicar como o solo está funcionando naquele determinado momento em relação aquelas propriedades levantadas (Karlen *et al.*, 2003).

Araújo *et al.* (2004) avaliaram algumas propriedades

indicadoras da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico da região Noroeste do Paraná, cultivado e sob mata nativa. Avaliado a porosidade, a densidade do solo, a curva de retenção de água do solo, a curva de resistência do solo à penetração e o intervalo hídrico ótimo. Os resultados indicaram valores significativamente maiores de densidade do solo e menores de macroporosidade e porosidade total na área cultivada. Não constataram efeito significativo do uso do solo na curva de retenção de água, apesar de ter sido ela influenciada pela densidade do solo. A curva de resistência foi significativamente influenciada pelo uso do solo, evidenciada pelos maiores valores de resistência à penetração com o secamento do solo na área cultivada.

O município de Ibiúna vem se destacando na produção de produtos agrícolas para abastecimento da região metropolitana do estado de São Paulo e ao mesmo tempo, ainda possui importantes fragmentos de remanescentes florestais pertencentes ao bioma Mata Atlântica. Algumas propriedades rurais vêm praticando a chamada agricultura orgânica com o objetivo de obter e manter um solo de qualidade dos produtos cultivados e vendidos e ainda proporcionar um ganho na qualidade ambiental da bacia hidrográfica onde estas propriedades estão situadas. A maioria das propriedades que mudaram o sistema de cultivo do convencional para o orgânico fez esta mudança há ~5 anos. Neste sentido, não há ainda trabalhos que mostram como os sistemas de manejo, quer seja orgânico ou convencional, vêm acarre-

PALAVRAS CHAVE / Cultivo Orgânico / Física do Solo / Qualidade dos Solos / Química do Solo /

Recebido: 17/12/2010. Modificado: 26/09/2021. Aceito: 27/09/2011.

Luiz Augusto Manfré. Engenheiro Ambiental e Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil. Aluno de Doutorado, Universidade de São Paulo (USP), Brasil. Endereço: Laboratório de

Geoprocessamento, Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica USP. Av. Prof. Almeida Prado, Travessa 2, nº 83, Cidade Universitária. São Paulo, SP, Brasil. e-mail: luizmanfre@yahoo.com.br

Alexandre Marco da Silva. Ecólogo, UNESP, Brasil. Mestre e Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental, USP, Brasil. Professor, UNESP, Sorocaba, Brasil.

Rodrigo Custódio Urban. Engenheiro Ambiental e Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, UNESP, Brasil. Doutorando em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Brasil.

SOIL QUALITY ATTRIBUTES UNDER TWO DIFFERENT MANAGERMENTS IN THE MUNICIPALITY OF IBIUNA, SP, BRAZIL

Luiz Augusto Manfré, Alexandre Marco da Silva and Rodrigo Custódio Urban

SUMMARY

Agricultural activity has direct consequences on the soil and water quality. Thus, assessing environmental impacts of this vital economic activity, through soil attribute analysis, is essential to the proposal of alternatives. The aim of this study was to analyze soil quality under different land management practices, conventional and organic. The study was carried out in a watershed of the Ibiuna municipality, SP, Brazil, an important supplier of agricultural products for the São Paulo metropolitan area. A hundred samples were collected, 20 in each type of land use: reforested areas, native vegetation, pasture, conventional cultivation and organic cultivation. The soil resistance to pen-

etration, its pH (in water and KCl), electrical conductivity, bulk density, particle density, porosity, soil color, soil texture and the percentages of carbon and nitrogen were analyzed. The data were statistically analyzed, searching for significant differences. The results of soil analysis showed great similarity between the organic and conventional culture, with no statistical differences. However, organic cultivation showed greater similarity to the soil of native vegetation in the percentage of carbon and nitrogen in soils compared to conventional culture. Thus, the discussion begins on a topic very little explored so far, and the results obtained should be further studied.

ATRIBUTOS DE CALIDAD DE SUELOS BAJO DOS DIFERENTES TIPOS DE GESTIÓN EN EL MUNICIPIO DE IBIÚNA, SP, BRAZIL

Luiz Augusto Manfré, Alexandre Marco da Silva y Rodrigo Custódio Urban

RESUMEN

La actividad agrícola tiene consecuencias directas sobre la calidad del suelo y del agua. Por lo tanto, evaluar los impactos ambientales de esta vital actividad económica, a través del análisis de los atributos del suelo es esencial para propuestas de alternativas. El objetivo de este estudio fue realizar un análisis comparativo de la calidad del suelo con diferentes prácticas de gestión, buscando evidencias de posibles diferencias en la calidad del suelo con manejo convencional y orgánico. El estudio se realizó en una cuenca hidrográfica del municipio de Ibiúna, SP, Brasil, un proveedor líder de productos agrícolas para la región metropolitana de São Paulo. Cien muestras fueron colectadas, 20 en cada tipo de uso del suelo: reforestación, vegetación natural, pastizales, agricultura convencional y agricultura ecológica.

Se analizaron resistencia a la penetración, pH (en agua y KCl), conductividad eléctrica, densidad del suelo, densidad real, porosidad, color del suelo, textura y porcentajes de carbono y nitrógeno. Los datos fueron analizados estadísticamente, en busca de diferencias significativas. Los resultados del análisis del suelo mostraron una similitud entre los cultivos orgánicos y convencionales, sin distinción estadística. Sin embargo, la agricultura ecológica mostró una mayor similitud con el suelo de la vegetación natural en cuanto al porcentaje de carbono y nitrógeno en los suelos. Así se da inicio a una discusión acerca de un tema poco explorado, y los resultados obtenidos deberán ser investigados en estudios posteriores.

tando alterações na qualidade dos solos locais.

Na região de Ibiúna predominam os solos Argissolos e Latossolos (Oliveira *et al.*, 1999). Tais solos são geralmente ácidos e com pouca concentração de nutrientes na camada superficial, especialmente nas regiões tropicais (Vieira, 1988). O tipo de manejo no solo pode acarretar modificações físicas, químicas, hidráulicas e biológicas, que podem ser quantificadas através de análises comparativas entre solos de áreas referências (ainda coberto com vegetação natural) e áreas em uso, com diferentes tipos de usos e diferentes sistemas de manejo (Primavesi, 1987).

Desta forma, o presente trabalho visou comparar atributos

de qualidade de solo, em áreas com distintas coberturas da terra: reflorestamento, vegetação nativa, pastagem e cultivo temporário. Além disso, buscou-se uma comparação entre os atributos do solo em áreas sob cultivo temporário com manejo convencional e com manejo orgânico.

Material e Métodos

Caracterização ambiental da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do alto rio Sorocabuçu, pertencente à região do alto rio Sorocaba, município de Ibiúna, São Paulo (Figura 1). A bacia hidrográfica se localiza a montante da re-

presa de Itupararanga, importante manancial que abastece as cidades da região (CBH, 2006), inserindo-se na área de abrangência da Área de Proteção Ambiental de Itupararanga. A área de estudo está inserida na Serra de Paranapiacaba, cujo clima é predominantemente temperado quente e úmido, de acordo com Köppen (1948). A temperatura média anual é 19,3°C e a altura pluviométrica anual é 1.428mm, com maiores índices entre os meses de outubro e março (Embrapa, 2003).

O aspecto atual mostra alguns padrões de alteração na paisagem, com a derrubada da mata para consumo de madeira, produção de carvão vegetal e estabelecimento de práticas agrícolas. A vegetação natural

remanescente é secundária, com distintos estágios sucessionais. Conservando grande parte de suas espécies florestais originais, a área está inserida na Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da cidade de São Paulo (Vidal *et al.*, 2007).

A bacia hidrográfica estudada localiza-se totalmente em zona rural, com predominância de usos agrícolas, destacando-se a horticultura. Neste local são praticados cultivos convencionais e cultivos orgânicos. A produção agrícola da região abastece grande parte da região metropolitana de São Paulo.

Procedimentos

Para a caracterização e avaliação da qualidade dos solos

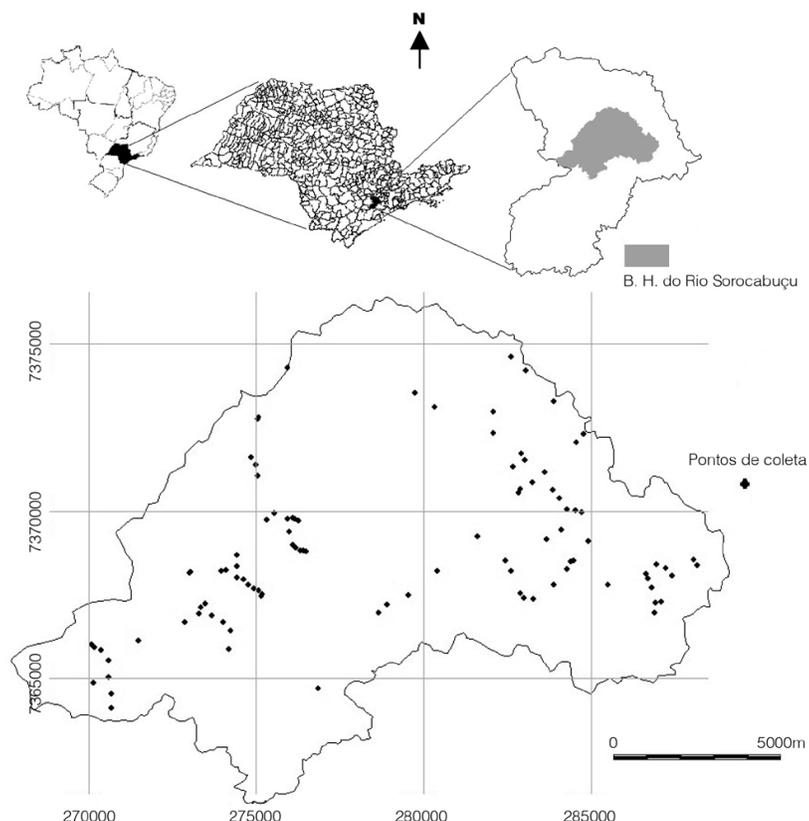


Figura 1. Localização do município de Ibiúna/SP, das bacias hidrográficas do Alto rio Sorocabaçu e dos pontos de coleta de solo.

das áreas de estudo, foram coletadas amostras indeformadas da camada de 0-20cm (Amaral *et al.*, 2004). O delineamento amostral, de acordo com Szwarcwald e Damascena (2008), foi a amostragem estratificada, pois os cinco estratos de cobertura de solo identificados nas bacias hidrográficas (cultivo temporário, vegetação, reflorestamento de pinus e eucalipto, pastagem e solo exposto) foram amostrados. Desta forma, determinou-se 20 amostras para cada cobertura de solo, totalizando 100 amostras.

As amostras foram coletadas com auxílio de cilindro de metal e embaladas no campo, preservando-se a umidade do solo no momento da coleta. Para a realização das análises, todas as amostras foram completamente secas em estufa a 80°C. As umidades relativas das amostras foram aferidas por diferença de massa, antes e depois de serem secas em estufa.

A cor dos solos foi determinada por comparação com

padrões contidos na Carta de Cores de Munsell (1975) em amostras secas e ligeiramente umedecidas. Determinou-se a densidade aparente pelo método do anel volumétrico (Santos *et al.*, 2005). A densidade real foi determinada pelo método do balão volumétrico (Embrapa, 1997). Com isso, calculou-se a porosidade a partir da equação proposta em Vieira (1988).

A compactação do solo foi avaliada em campo através da quantificação de sua resistência à penetração, utilizando-se um penetrômetro de impacto adaptado (Stolf, 1991). Foram realizados cinco ensaios em todos os pontos de coleta de solo, tendo sido extraídas as médias do número de golpes para que o aparelho atingisse 10cm de profundidade. A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em resistência à penetração foi realizada de acordo com Stolf (1991). Em cada ponto foram feitos cinco ensaios de penetração em regiões próximas entre

si, e computadas as médias.

As determinações da condutividade elétrica nas amostras de solo foram efetuadas em extrato solo-água na proporção 1:1 (volume) em condutivímetro com célula de 1cm (Oliveira *et al.*, 2002). O pH foi determinado em H₂O e em solução de KCl 1mol.l⁻¹, na proporção 1:2,5 v/v de solo:extrator (Benites e Mendonça, 1998). O ponto de carga zero (PCZ) foi calculado de acordo com Keng e Uehara (1974).

A análise dos teores de carbono e nitrogênio foi realizada no Centro e Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP), em Piracicaba, SP, seguindo metodologias utilizadas por Bolson (2006) e Nogueira *et al.* (2005). Além disso, foi calculada a relação carbono-nitrogênio.

Os dados foram separados de acordo com o uso, independente da bacia hidrográfica e foram tratados e analisados com o auxílio do suplemento XLStat 4.05 (Addinsoft, 2010) para o programa Office Excel 2007 (Microsoft, 2006).

As análises das informações de estatística descritiva permitiram a identificação da distribuição dos dados das amostras, indicando a inviabilidade de aplicação de testes paramétricos, pois nenhum deles apresentou comportamento que se aproximasse de uma distribuição normal, conforme Gotelli e Allison (2004) e Costa Neto (2002). Desta forma, foi realizada a análise da estimativa intervalar, para 95% de confiança. Esta análise permite avaliar as diferenças e igualdades estatísticas entre os grupos analisados (Beijo *et al.*, 2005). Além disso, foi executada uma análise de agrupamento hierárquico por similaridade, indica-

da pela correlação de Pearson, para evidenciar as coberturas de solo mais semelhantes entre si, de acordo com os atributos de solo analisados.

Resultados e Discussão

A cor dos solos das bacias hidrográficas estudadas é bastante variada, tendo sido encontradas, dentre as 100 amostras, 26 tonalidades do matiz apresentados na Carta de Munsell. Destacam-se as cores bruno (19 ocorrências), bruno-amarelado (13), bruno-amarelado-claro (11) e amarelo-avermelhado (10) como as mais recorrentes.

Os solos cobertos com vegetação natural remanescentes foram classificados, basicamente como: bruno (8), bruno-acinzentado-escuro (4) e bruno-acinzentado-muito-escuro (3). As áreas de reflorestamento apresentaram principalmente solos bruno (6) e bruno-forte (4). As demais classes de cobertura não apresentaram um padrão ou maioria expressiva de uma cor de solo. Solos com tonalidades mais escuras apresentaram-se associados às áreas cobertas com vegetação ou reflorestamento, o que sugere alto teor de matéria orgânica no solo (Canellas *et al.*, 2000).

Observou-se que os solos com tonalidades mais escuras, apresentaram-se associados às áreas de vegetação ou reflorestamento, o que sugere alto teor de matéria orgânica no solo. Canellas *et al.* (2000) encontraram alta correlação entre a quantidade de matéria orgânica do solo e a cor, atribuindo aos grupamentos funcionais insaturados covalentes a maior influência sobre a intensidade da cor do solo.

As análises granulométricas não apresentaram diferenças estatísticas para as frações de areia nem para as frações de silte, entre as coberturas da terra. Porém houve diferença nas frações de argila, sendo que os solos de reflorestamento apresentaram valores mais elevados que os apresentados para os solos sob vegetação. Das 100 amostras, 7 tiveram sua textura classificada como are-

TABELA I
MÉDIAS E ESTIMATIVAS INTERVALARES DOS ATRIBUTOS DE QUALIDADE
DO SOLO PARA CADA TIPO DE USO NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO SOROCABUÇU, IBIÚNA (SP)

Atributos do solo	Cultivo orgânico	Cultivo convencional	Reflorestamento	Vegetação	Pastagem
DA	0,95 (0,88 - 1,02)	0,96 (0,86 - 1,06)	0,84 (0,77 - 0,91)	0,64 (0,56 - 0,72)	1,01 (0,95 - 1,08)
DR	2,24 (2,17 - 2,32)	2,15 (2,10 - 2,20)	2,23 (2,17 - 2,29)	2,05 (1,98 - 2,12)	2,23 (2,18 - 2,27)
UR	24,99 (23,13 - 26,84)	19,51 (16,16 - 22,86)	25,02 (23,28 - 26,75)	33,44 (29,19 - 37,69)	24,94 (21,40 - 28,48)
DAU	0,43 (0,39 - 0,46)	0,45 (0,40 - 0,49)	0,38 (0,35 - 0,41)	0,31 (0,28 - 0,34)	0,46 (0,42 - 0,49)
PNAT	57,22 (53,77 - 60,68)	55,49 (51,11 - 59,86)	62,11 (58,74 - 65,49)	68,90 (65,83 - 71,97)	54,43 (51,33 - 57,53)
RP	10,78 (7,48 - 14,07)	19,09 (13,13 - 25,05)	19,71 (16,01 - 23,41)	16,99 (13,85 - 20,12)	37,59 (28,34 - 46,84)
CE	147,34 (105,35 - 189,32)	194,59 (147,44 - 241,75)	90,23 (75,76 - 104,69)	152,80 (124,43 - 181,17)	106,05 (74,97 - 137,13)
C	2,27 (1,82 - 2,72)	2,40 (1,62 - 3,17)	3,53 (2,77 - 4,30)	4,92 (3,98 - 5,85)	2,71 (2,13 - 3,28)
N	0,16 (0,13 - 0,19)	0,16 (0,12 - 0,20)	0,21 (0,18 - 0,24)	0,35 (0,29 - 0,41)	0,19 (0,15 - 0,23)
C/N	13,50 (11,87 - 15,14)	13,48 (11,73 - 15,22)	16,46 (15,24 - 17,68)	13,96 (13,31 - 14,61)	14,37 (13,52 - 15,22)
pH água	6,16 (5,90 - 6,42)	6,10 (7,73 - 6,47)	5,05 (4,65 - 5,45)	5,18 (4,86 - 5,51)	5,68 (5,33 - 6,04)
pH KCL	6,19 (5,85 - 6,52)	6,26 (5,89 - 6,62)	4,91 (4,35 - 5,47)	4,77 (4,25 - 5,28)	6,07 (5,64 - 6,49)
PCZ	6,22 (5,57 - 6,86)	6,41 (5,74 - 7,09)	4,77 (3,85 - 5,69)	4,35 (3,48 - 5,22)	6,45 (5,75 - 7,15)
FAF	16,06 (13,66 - 18,46)	15,65 (12,89 - 18,42)	13,20 (10,46 - 15,93)	18,17 (12,92 - 23,43)	12,74 - 10,04 - 15,43)
FAM	25,68 (22,99 - 28,37)	22,12 (18,57 - 25,68)	23,74 (18,97 - 28,51)	21,82 (16,91 - 26,73)	22,28 (18,44 - 26,12)
FAG	13,50 (9,71 - 17,29)	14,95 (11,25 - 18,65)	13,00 (10,53 - 17,47)	15,57 (11,82 - 19,32)	11,69 (8,92 - 14,47)
FARG	29,16 (25,73 - 32,58)	27,37 (23,59 - 31,14)	34,89 (30,71 - 39,07)	24,24 (20,18 - 28,30)	31,42 (25,86 - 36,97)
FS	15,60 (12,44 - 18,76)	19,90 (15,18 - 24,63)	14,17 (10,61 - 17,74)	20,20 (14,46 - 25,94)	21,87 (17,69 - 26,05)

DA: densidade aparente (g/cm³); DR: densidade real (g/cm³); DAU: densidade aparente úmida (g/cm³); UR: umidade relativa (%); PNAT: porosidade natural; RP: resistência ao penetrômetro (kPa); CE: condutividade elétrica (Ω⁻¹.m⁻¹); C: carbono (%); N: nitrogênio (%); C/N: relação carbono-nitrogênio; PCZ: ponto de carga zero; FAF: fração de areia fina (%); FAM: fração de areia média (%); FAG: fração de areia grossa (%); FARG: fração de argila (%); FS: fração de silte (%).

nosa, 15 argilosa e 78 média. Não houve correlação expressiva entre a textura e a cobertura da terra, o que, segundo Beutler *et al.*, (2001) ocorre devido à estabilidade dessas características do solo, que não sofrem alterações a curto prazo.

Ibiúna localiza-se sobre embasamento cristalino bastante antigo (pré-cambriano), com alta variedade de rochas metamórficas. Por outro lado, o relevo possui movimentação relativamente acentuada. Talvez estes fatores venham influenciar na variabilidade não somente das cores como também no comportamento da textura dos solos, mesmo analisando mesmas classes de cobertura da terra.

De acordo com a análise das estimativas intervalares, não houve diferença estatisticamente significativa entre os dados de densidade aparente (DA) para os solos de reflorestamento, cultivo convencional e cultivo orgânico (Tabela I). A DA dos solos de vegetação é me-

nor e, de acordo com a análise estatística, é igual a dos solos de cultivo orgânico e convencional. A análise do coeficiente de variação mostrou baixa variação em torno da média, ou seja, a representatividade das análises da estimativa intervalar foi alta.

A similaridade estatística para a DA entre os resultados dos solos de cultivo (convencional e orgânico) e de pastagem pode ser explicada pela ausência de espécies vegetais de grande influência radicular, como ocorre em áreas de vegetação nativa e reflorestamento. Adicionalmente verificou-se que no preparo do solo, realizado nas áreas de cultivo, são utilizados tratores, que favorecem a semelhança aos resultados obtidos nas áreas de pastagem, onde há pisoteio do gado. Bertol e Santos (1995), Streck *et al.* (2004) e Araújo *et al.* (2007) encontraram grande semelhança entre a densidade aparente de solos sob pastagem natural e áreas

de cultivo. Isto pode ser atribuído à ação de pisoteio do gado e ao trânsito de maquinário pesado nas áreas de cultivo (Roque *et al.*, 2003).

A Figura 2a mostra o dendrograma para a DA do solo, evidenciando a grande dissimilaridade entre os solos de vegetação e os demais solos estudados. Observa-se a formação de sub-grupos, que mostram maior similaridade entre os solos de cultivo orgânico, cultivo convencional e de pastagem. Entretanto, a similaridade apresentada entre os usos do solo, para os dados não pode ser considerada significativa, uma vez que, os nós ocorrem com valores <0,2 na correlação de Pearson.

A densidade real (DR) apresentou igualdade estatística, de acordo com a análise das estimativas intervalares, entre os solos de vegetação e cultivo convencional e entre os solos de cultivo convencional, cultivo orgânico, pastagem e reflorestamento. A distribuição normal

dos dados foi homogênea e o coeficiente de variação demonstra que a variação em torno da média foi baixa.

A Figura 2b mostra o dendrograma de similaridade para a DR de acordo com os usos de solo. Nota-se a formação de três subgrupos, que evidenciam a similaridade da DR entre os solos de reflorestamento e de vegetação, dos solos sob cultivo convencional e pastagem e um baixo índice de similaridade para entre os solos de cultivo orgânico e o subgrupo composto pelos solos de pastagem e cultivo convencional.

O dendrograma da Figura 2b mostra correlação de Pearson ~0,3 para os solos dois subgrupos mais similares. Desta forma, mostra-se maior semelhança da densidade das partículas nos solos de vegetação e reflorestamento.

A princípio, os valores da DR poderiam não apresentar variação conforme o uso da terra, pois este parâmetro por ser influenciado mais pela mineralogia do solo do que pelo uso. Neste contexto, a classe granulométrica 'areia grossa' foi a que apresentou maior correlação com a DR (r²= 0,7). Contudo, a variação observada entre as classes de uso da terra pode ter alguma relação com o histórico do processo erosivo ocorrente nas áreas de estudo que é variável conforme o tipo de uso da terra.

Assim como relatado na literatura (Cavenage *et al.*, 1999), verificou-se neste trabalho que as áreas cobertas com vegetação tendem a apresentar maiores valores de porosidade, enquanto que os valores das classes pastagens, cultivos orgânicos e cultivos convencionais foram menores e bastante similares entre si. Os valores para o reflorestamento se sobrepuaram aos valores de cultivo orgânico e convencional, sendo maiores que os valores das pastagens.

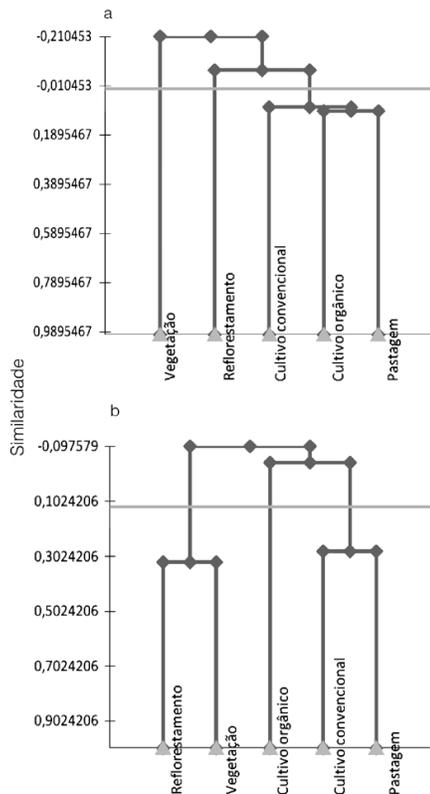


Figura 2. Dendrogramas da análise de similaridade da densidade aparente (a) e da densidade real (b) entre as coberturas de solo analisadas. Nós e linhas (em cinza) indicando os agrupamentos de acordo com os graus de similaridade.

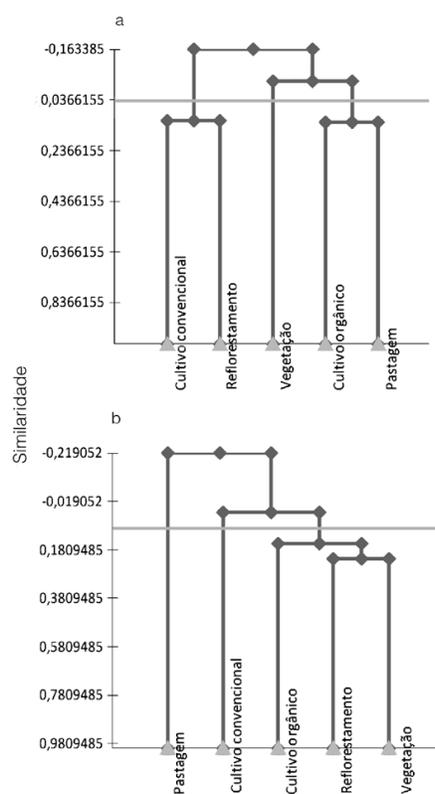


Figura 3. Dendrogramas da análise de similaridade da porosidade natural (a) e da condutividade elétrica (b) entre as coberturas de solo analisadas. Nós e linhas (em cinza) indicando os agrupamentos de acordo com os graus de similaridade.

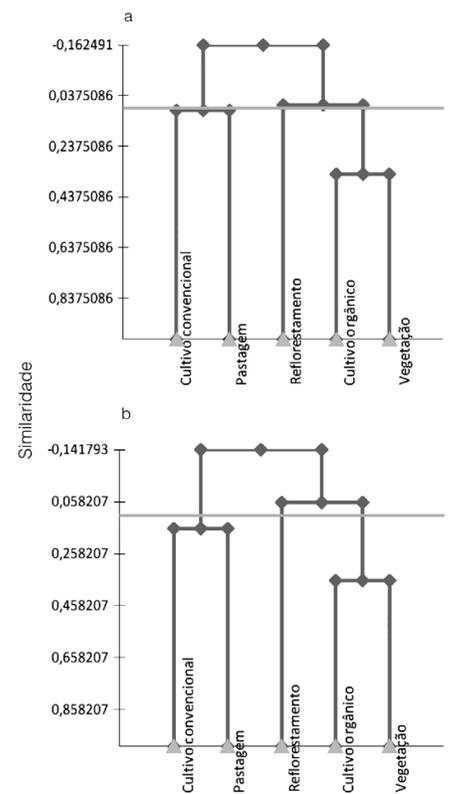


Figura 4. Dendrograma da Análise de Similaridade do percentual de carbono (a) e do percentual de nitrogênio (b) entre as coberturas de solo analisadas. Nós e linhas (em cinza) indicando os agrupamentos de acordo com os graus de similaridade.

A porosidade dos solos de vegetação mostrou-se mais elevada, sendo maior que os valores dos outros usos. Os valores das pastagens, cultivos orgânicos e cultivos convencionais foram bastante similares. Os valores para o reflorestamento se sobrepuseram aos valores de cultivo orgânico e convencional, sendo maiores que os valores das pastagens. Os resultados mostraram que os solos de vegetação, devido à grande quantidade de vazios e à baixa compactação possuem maior porosidade.

Deve-se destacar que, apesar da baixa porosidade, as áreas agrícolas (solo exposto e cultivo temporário), são os principais usos que originam a erosão hídrica superficial na área de estudo. Isso ocorre, pois o solo dessas áreas possui pouca proteção vegetal, portanto, mais suscetíveis à ação das águas pluviais. Roth *et al.* (1991) mostraram que solos descobertos diminuem a esta-

bilidade de agregados, ocasionando diminuição na infiltração de água e induzindo enxurradas e erosão.

A Figura 3a mostra o dendrograma de similaridade da porosidade natural para os usos de solos estudados. Percebe-se a formação de um subgrupo, com nó em de 0,1, formado pelo cultivo convencional e pelo reflorestamento e outro subgrupo, também com nó em torno de 0,1, formado por cultivo orgânico e pastagem. Como as correlações de Pearson não foram significativas, a principal inferência que se pode extrair deste dendrograma é a dissimilaridade dos solos de vegetação com os demais usos.

Os resultados dos ensaios de resistência ao penetrômetro mostraram valores maiores para os solos de pastagem em comparação com os resultados dos outros usos. Os solos de reflorestamento, cultivo convencional e vegetação, de acordo com a análise estatística,

apresentaram sobreposição de intervalos de confiança. Já valores obtidos em solos com cultivo orgânico diferiram dos solos de pastagem e dos solos de reflorestamento, apresentando valores menores. Estes resultados refletem o impacto das pastagens sobre a qualidade dos solos.

Desta forma, deve-se destacar o alto valor de compactação para solos sob pastagem. Uma das causas que poderia influenciar no processo de compactação do solo é a forma de manejo do gado. Ainda que a densidade de cabeças bovinas seja considerada média para a região (segundo dados do IBGE (2011) e da CATI (2011) a região possui uma densidade média de 1,58 cabeças de gado/ha). A densidade talvez não seja então o principal problema.

O problema maior certamente é a forma de manejo do gado. Na região as propriedades geralmente não são subdivi-

vidas em células (piquetes). Se as áreas pastoris fossem subdivididas, o pecuarista poderia manejar o gado, de modo a fazer com que uma parte do solo (uma ou mais células) ficasse sem animais e, portanto, em período de descanso, proporcionando uma recuperação da pastagem e recuperando/sustentando algumas propriedades físicas dos solos locais.

Deve-se ainda observar que os resultados obtidos para os solos sob vegetação natural não foram condizentes com os valores obtidos para a porosidade. Isso pode ser atribuído à grande quantidade de raízes presentes nos solos desta classe de cobertura, uma vez que a maioria das áreas amostradas apresentava-se em estágios iniciais ou intermediários de sucessão, com grande quantidade de vegetação arbustiva com raízes superficiais.

Além disso, os solos de cultivo amostrados, em sua totalidade, tinham sido recentemente

gradeados, oferecendo baixíssima resistência aos golpes do aparelho, mesmo nas entrelinhas de plantio.

Outro aspecto dos ensaios de resistência ao penetrômetro está ligado ao coeficiente de variação, que se apresentou sempre >40%, indicando grande margem de variação em torno da média. Desta forma, deve-se destacar o alto valor de compactação para solos de pastagem, porém, os resultados devem ser comparados e analisados com atenção aos valores da porosidade, que representa um atributo mais preciso para a avaliação do impacto do uso do solo sobre a compactação.

Quanto à umidade relativa, os solos de vegetação apresentaram maiores valores, enquanto que os solos de cultivo convencional apresentaram os menores valores. Os solos sob pastagem, reflorestamento e cultivo orgânico não apresentaram diferença estatística. Além disso, os solos de vegetação se mostraram menores, quanto analisada a densidade aparente úmida das amostras. Os solos de pastagem apresentaram valores estatisticamente maiores que os valores dos solos sob reflorestamento. Com isso, evidencia-se a maior capacidade de retenção de água dos solos sob vegetação, devido aos maiores percentuais de carbono orgânico apresentados, relação estabelecida em Gomes *et al.* (2004).

Uma das prováveis causas da diferenciação do teor de água nos solos sob diferentes coberturas é em relação ao conteúdo de carbono no solo. Silva *et al.* (2011) analisando o teor de carbono na mesma área de estudo, encontraram valores médios variando de 27,4g·kg⁻¹ para solos sob pastagem até valores de 52,8g·kg⁻¹ para solos sob vegetação natural, sendo que áreas sob floresta plantada apresentaram valores médios de 37,1g·kg⁻¹. Analisando em conjunto os dados de C e os dados de umidade relativa, observou-se valor correlação de 0,87 (significativo $\alpha=6\%$). Portanto, a manutenção do C do solo permite que o solo exerça um importante serviço ecossis-

têmico, que é possibilidade de estocar maior quantidade de água (Palm *et al.*, 2007).

Dos atributos químicos, destaca-se a regularidade do pH em água, em KCl e do ponto de carga zero, dos solos de cultivos orgânicos e convencionais, o que indica necessidade de adição de insumos para a correção da acidez. Para os solos de reflorestamento e vegetação, entretanto, obteve-se valores indicando maior acidez, o que pode estar relacionado à maior quantidade de matéria orgânica. A análise do percentual de carbono mostrou que os solos de vegetação possuem valores estatisticamente, maiores que os dos solos de pastagem, cultivo convencional e cultivo orgânico. A estimativa intervalar para os solos de reflorestamento se sobrepôs à estimativa dos solos de vegetação, cultivo convencional e pastagem. Porém foi maior que o intervalo de confiança dos solos de cultivo orgânico.

Quando o pH em H₂O é maior que o pH em KCl (Δ pH) indica predominância de cargas negativas, e para esta situação há a retenção de mais cátions do que ânions. Quando o pH em H₂O é menor que pH KCl, predominam cargas positivas e o solo retém mais ânions do que cátions. Quando os valores são iguais, o balanço de cargas é nulo e o solo retém cátions e ânions em baixas quantidades e nas mesmas proporções (Vieira, 1988). Para a área de estudo, verifica-se que para as classes de cultivo convencional e pastagem os valores de pH em H₂O foram superiores dos valores do pH em KCl (diferença positiva), para as classes do reflorestamento e vegetação natural os valores de pH em H₂O ficaram superiores dos valores do pH em KCl (diferença negativa) e para o cultivo orgânico os valores de pH ficaram praticamente iguais.

Ainda que as diferenças sejam discretas, este talvez seja o maior reflexo, neste momento, que os solos estudados sob cultivo orgânico apresentem em relação aos solos sob cultivo convencional e solos sob

pastagem. Ou seja, se os solos sob cultivo orgânico tivessem recebido um manejo convencional, muito provavelmente eles estariam com um balanço eletroquímico similar ao solo convencional e com maior probabilidade das argilas se dispersarem em água, portanto, uma propensão ligeiramente maior de sofrer degradação.

Houve efetiva similaridade para os valores de condutividade elétrica entre os solos de cultivo orgânico e solos de vegetação, comparativamente com os solos de cultivo convencional (Figura 3b). Nota-se a formação de quatro subgrupos, com maior similaridade (~0,2) entre os solos de vegetação e reflorestamento. Existe um nó, muito próximo, que estabelece similaridade entre o cultivo orgânico e os solos de vegetação e reflorestamento e outro acima, que indica menor similaridade entre o cultivo convencional e o subgrupo do cultivo orgânico, reflorestamento e vegetação.

Os solos de vegetação também apresentaram teores de nitrogênio mais elevados que os demais usos de solo. No entanto, a relação C/N, o único uso que não teve estimativa intervalar sobreposta às demais, foi o reflorestamento, com valores maiores. O que pode ser atribuído, de acordo com Pérez *et al.* (2005) à origem da matéria orgânica dos solos, resultante da decomposição de plantas e animais, em geral compostos por C e N.

A Figura 4a apresenta o dendograma do percentual de carbono para os usos de solo estudados. Observação grande similaridade entre os solos de vegetação e cultivo orgânico, resultado distinto do apontado pela análise da estatística descritiva. Nota-se também a formação de um subgrupo composto por cultivo convencional e pastagem, porém, com menor similaridade. Bem como, o que indica o nó entre o reflorestamento e o subgrupo composto por vegetação e cultivo orgânico.

Desta forma, através da análise de similaridade, pode-se afirmar que o cultivo orgânico

possui percentual de carbono que se assemelha mais ao de uma situação ideal, que os solos de cultivo convencional.

A Figura 4b mostra o dendrograma para o percentual de nitrogênio, nota-se o mesmo padrão descrito para a Figura 4a, com similaridade significativa entre os solos de cultivo orgânico e os solos de vegetação. Evidencia-se mais uma vez maior semelhança das condições existentes entre os solos sob cultivos orgânicos e os solos de vegetação, comparativamente com os solos sob cultivo convencional. O dendrograma para a relação C/N confirma a similaridade entre os solos de cultivo convencional e solos de pastagem. Observou-se também similaridade significativa entre os solos de reflorestamento e os solos de vegetação. Apesar de não apresentar similaridade significativa, mais uma vez os solos sob cultivo orgânico se apresentaram mais similares aos solos de vegetação que os solos sob cultivo convencional.

As análises granulométricas não apresentaram diferenças estatísticas para as frações de areia nem para as frações de silte, entre os usos do solo. Porém houve diferença nas frações de argila, sendo que os solos de reflorestamento apresentaram valores mais elevados que os apresentados para os solos sob vegetação. Das 100 amostras, 7 solos tiveram sua textura classificada como arenosa, 15 argilosa e 78 média. Não houve correlação expressiva entre a textura e o uso do solo, o que, segundo Beutler *et al.* (2001) ocorre devido à estabilidade dessas características do solo, que não sofrem alterações a curta prazo.

Tendo em vista a pesquisa por fontes bibliográficas que descrevessem os processos erosivos em áreas de cultivo, pode-se afirmar uma escassez de trabalhos descrevendo processos erosivos em cultivo orgânico. Desta forma, com o presente trabalho inicia a discussão sobre este tema, que ainda deve ser estudado em outras regiões, buscando a confirmação dos resultados obtidos.

Conclusões

Para a maioria das variáveis estudadas, não houve diferença significativa entre os cultivos orgânico e convencional. A exceção observada foi o discreto valor de ΔpH . Tal diferença pode ser momentânea ou pode indicar uma estabilidade de íons nos solos sob cultivo orgânico. Os atributos do solo das áreas de vegetação se mostraram, como esperado, menos propícias à ação de processos erosivos. Porém, as análises de *clusters* aglomerativos hierárquicos evidenciaram, para os percentuais de N e C, maior similaridade entre o cultivo orgânico e os solos de vegetação, em relação aos solos de cultivo convencional. Esses atributos podem ser atribuídos a diferenças no tipo de adubação do solo.

O preparo mecânico dos solos, para os dois cultivos na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocaba é intenso, com uso de maquinários pesados, que interferem em sua estrutura física. Desta forma, não se pode apontar diferenças entre o grau de exposição ao processo erosivo de solos sob cultivo orgânico e convencional.

Além disso, observando-se todos os trabalhos descritos e os resultados do presente estudo, destaca-se que as áreas de mata e reflorestamento são menos suscetíveis a processos erosivos, elencando-se, a conservação do solo como premissa para a conservação de remanescentes

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pela concessão das bolsas de mestrado (2009/02534-7 e 2009/02182-3) ao primeiro e terceiro autor do trabalho.

REFERÊNCIAS

- Addinsoft (2010) *XLStat 2010*. Addinsoft SARL.
- Amaral AS, Anghinoni I, Deschamps FC (2004) Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 28: 115-123.
- Araujo MA, Tormena CA, Silva AP (2004) Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 28: 337-345.
- Araujo R, Goedert WJ, Lacerda MPC (2007) Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 31: 1009-1108.
- Beijo LA, Muniz JÁ, Castro Neto P (2005) Tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos Tipo I. *Ciênc. Agrotecnol.* 29: 657-667.
- Benites VM, Mendonça S (1998) Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 22: 215-221.
- Bertol I (1994) Erosão hídrica em cambissolo húmico distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de cultura. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 18: 267-271.
- Bertol I, Santos JCP (1995) Uso do solo e propriedades físico-hídricas no planalto catarinense. *Pesq. Agropecua. Bras.* 30: 263-267.
- Beutler NA, Silva MLN, Ferreira MM, Cruz JC, Pereira Filho IA (2001) Resistência à penetração e permeabilidade de latossolo vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região do Cerrado. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 25:165-177.
- Bolson MA (2006) *A Biogeoquímica do Rio Urupá, Rondônia*. Tese. CENA. Universidade de São Paulo. Brasil. 77 pp.
- Canellas LP, Berner PG, Silva SG, Silva MB, Santos GA (2000) Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no estado do Rio de Janeiro. *Pesq. Agropec. Bras.* 35: 133-143.
- CATI (2011) Mapas das Atividades Agrícolas no Estado de São Paulo. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Governo do Estado São Paulo, Brasil. www.cati.sp.gov.br/projetolupa/mapaculturas.php
- Cavenage A, Morães MLT, Alves MC, Carvalho MAC, Freitas MLM, Buzetti S (1999) Alterações nas propriedades físicas de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes culturas. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 23: 997-1003.
- CBH (2006) *Nossas Águas*. Comitê de Bacias Hidrográficas dos Rios Sorocaba e Médio Tietê. Sorocaba, Brasil. 51 pp.
- Costa Neto PLOC (2002) *Estatística*. Edgar Blüncher. São Paulo, Brasil. 264 pp.
- Embrapa (2003) *Banco de Dados Climáticos do Brasil*. Embrapa Solos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Rio de Janeiro, Brasil.
- Embrapa (1997) *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2ª ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Rio de Janeiro, Brasil. 212 pp.
- Gomes JBV, Curi N, Motta PEF, Ker JC, Marques JGSM, Schulze DG (2004) Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. *Rev. Bras. Ciênc. Sol* 28: 137-153.
- Gotelli NJ, Allison AM (2004) *A Primer of Ecological Statistics*. Sinauer. Sunderland, MA. EEUU. 510 pp.
- IBGE (2011) Cidades@ O Brasil Município por Município. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1
- Karlen DL, Ditzler CA, Andrews SS (2003) Soil quality: why and how? *Geoderma* 114: 145-156.
- Keng JCW, Uehara G (1974) Chemistry, mineralogy and taxonomy of Oxisols and Ultisols. *Proc. Soil Crop Sci. Soc.* 33: 119-126.
- Köppen W (1948) *Climatologia: con un Estudio de los Climas de la Tierra*. Fondo de Cultura Económica. México. 479 pp.
- Leite D, Bertol I, Guadagnin JC, Santos EJ, Ritter SR (2004) Erosão hídrica em um nitossolo háptico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva acumulada: I. Perdas de solo e água. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 28: 1033-1044.
- Microsoft (2006) *Excel 2007*. Microsoft Corp.
- Munsell (1975) *Munsell Soil Color Charts*. Vol. 1. Munsell Soil Color Co. Baltimore, MD, EEUU. 117 pp.
- Nogueira SF, Carmo JB, Montes CR, Victoria RL, Ravagnani EC, Barufaldi RO (2005) Indicadores eco-fisiológicos da qualidade de um solo irrigado com esgoto tratado. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.* 9: 138-142.
- Oliveira FC, Mattiazzo ME, Marciano MR, Rossetto R (2002) Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um latossolo amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, ph e etc. *Revista Rev. Bras. Ciênc. Solo* 26: 505-519.
- Oliveira JB De, Camargo MN, Rossi M, Calderano Filho B (1999) *Mapa Pedológico do Estado de São Paulo. Legenda Expandida*. Instituto Agrônomo, Campinas. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, Brasil. 64 pp.
- Palm C, Sánchez P, Ahmed S, Awiti A (2007) Soils: A contemporary perspective. *Annu. Rev. Env. Resourc.* 32: 99-129.
- Pérez KSS, Ramos MLG, McManus C (2005) Nitrogênio de biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. *Pesq. Agropec. Bras.* 40: 137-144.
- Primavesi AM (1987) *Manejo Ecológico do Solo: A Agricultura em Regiões Tropicais*. 9ª ed. Nobel. São Paulo, Brasil. 549 pp.
- Roque CG, Centurion JF, Alencar GV, Beutler NA, Pereira GT, Andrioli I (2003) Comparação de dois penetômetros na avaliação da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos. *Acta Sci.: Agron.* 25: 53-57.
- Roth CH, Castro Filho C, Medeiros GB (1991) Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo Distrófico. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 15: 241-248.
- Santos RD, Lemos RC, Santos HG, Ker JC, Anjos LHC (2005) *Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo*. 5ª ed. SBSC. Viçosa, Brasil. 92 pp.
- Silva AM, Manfré LA, Urban RC, Carvalho RM, Camargo PB (2011) Estoque de carbono em solos com diferentes coberturas (São Paulo, Brasil). Em Lancho JG (Org.) *Materia Orgânica Edáfica y Captura de Carbono en Sistemas Iberoamericanos*. 1ª ed. Salamanca, España. pp. 267-279.
- Stolf R (1991) Teoria de testes experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrometro de impacto em resistência do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 15: 229-235.
- Streck CA, Reinert DJ, Reichert JM, Kaiser DR (2004) Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. *Ciênc. Rural* 34: 755-760.
- Szwarcwald CL, Damascena GN (2008) Amostras complexas em inquéritos populacionais: planejamento e implicações na análise estatística dos dados. *Rev. Bras. Epidemiol.* 11: 38-45.
- Vidal MM, Pivello VA, Meirelles ST, Metzger JP (2007) Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. *Rev. Bras. Bot.* 30: 521-532.
- Vieira LS (1988) *Manual da Ciência do Solo*. Agronômica Ceres. São Paulo, Brasil. 464 pp.